

TALUDES ROCHOSOS. METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO E DE AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA. CASO DE ESTUDO DAS VERTENTES ROCHOSAS DE S. SIMÃO

CARLOS ALBERTO OLIVEIRA PACHECO

Outubro de 2015

TALUDES ROCHOSOS. METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO E DE AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA. CASO DE ESTUDO DAS VERTENTES ROCHOSAS DE S. SIMÃO

Mestrando: Carlos Alberto Oliveira Pacheco

Tipo de trabalho: Relatório de Estágio

Ramo do Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas

Orientador (DEC | ISEP): Engenheiro José Filinto Castro Trigo

Coorientador (DEG | ISEP): Professor Doutor Helder Chaminé

Supervisor (Câmara Municipal de Amarante, CMA): Professor Doutor Jorge José De Magalhães
Mendes, Vice-presidente da CMA

Relatório de estágio para satisfação parcial dos requisitos do grau de
Mestre em Engenharia Civil – Ramo de Estruturas

OUTUBRO DE 2015

ÍNDICE GERAL

Resumo	v
Abstract.....	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Quadros	xix
1 Introdução	1
2 Estudo de taludes em maciços rochosos.....	5
3 A instabilidade de taludes	37
4 Perigosidade, Vulnerabilidade e Risco em taludes.....	65
5 Inspeção de taludes	71
6 Avaliação da qualidade de taludes rochosos	87
7 Soluções de proteção ou de estabilização	93
8 Caso de Estudo: vertentes rochosas de S. Simão	107
9 Conclusões	161
Bibliografia	165
Anexos	171

RESUMO

A instabilização de taludes rochosos, com consequências mais ou menos gravosas, repete-se com frequência no território nacional. Os enquadramentos destes incidentes são diversos, sendo mais comum e mais visível a sua ocorrência em taludes adjacentes a vias de comunicação.

No entanto, o fenómeno repete-se também em vertentes naturais, geralmente em alturas de pluviosidade mais prolongada e intensa.

No presente trabalho reveem-se conceitos associados a maciços rochosos, nomeadamente as principais classificações geomecânicas e as diferentes tipologias de instabilidade em taludes rochosos.

Desenvolve-se um caso de estudo de uma vertente localizada em S. Simão, concelho de Amarante. Percorrem-se as sucessivas fases de estudo, incluindo a realização da fotografia aérea com recurso a um veículo não tripulado, a geração de um modelo 3D de elevada precisão da vertente e a caracterização e a classificação dos diferentes afloramentos rochosos. Desenvolve-se uma metodologia de inspeção com a criação de dois conjuntos de fichas e propõe-se o agravamento da classificação das anomalias perante a simultaneidade de ocorrência de anomalias de idêntica gravidade e a hierarquização dos blocos potencialmente instáveis, de acordo com os respetivos níveis de gravidade (NGB).

Recorre-se ao programa de modelação da queda de blocos, *“Rocfall 4.0”*, da *“Rocscience”*, a partir de trajetórias definidas no modelo 3D gerado e propõem-se soluções de reforço e de proteção da vertente.

Palavras-Chaves

Maciços rochosos, Instabilidade, Queda de blocos, Barreiras flexíveis, Taludes, *Rocfall 4.0*, Inspeção.

ABSTRACT

The instability of rock slopes, with more or less severe consequences, it is frequently repeated throughout the national territory. The framing of this incidents it is quite diverse, it occurs most commonly and notoriously in the adjacent slopes of roads.

However, this phenomenon repeats itself in natural ways, usually during prolonged and intense rainfalls.

The present work reveals concepts associated to rock masses, namely the main geomechanical ratings and different types of rock slopes's instability.

A case study was developed about a slope located in S. Simão in the county of Amarante. The successive stages of study where perceived, including conducting the aerial photography using an unmanned vehicle, the generation of a 3D model, with high accuracy of the slope and the rating and characterization of the different rock outcrops. An inspection methodology was developed by creating two sets of records and the hierarchization of the potentially instable blocks was proposed, accordingly to the NGB, severity level's ranking.

The author resorted to modeling software to mimic the rock fall, namely Rocscience's Rocfall 4.0, through the defined trajectories by the 3D generated model and then, reinforcement and safety solutions of the slope are proposed.

Keywords

Rock Masses, Instability, Rock fall, Flexible barriers, Slopes, *Rocfall 4.0*, Inspection.

AGRADECIMENTOS

Neste capítulo pretendo expressar os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que direta ou indiretamente me ajudaram, incentivaram e apoiaram durante a redação do presente relatório de estágio, em particular:

Ao meu orientador, Engenheiro José Filinto Castro Trigo, por toda a partilha de conhecimentos, pelo enorme apoio no trabalho de campo, pelas várias revisões do manuscrito, por toda a sua disponibilidade e pela cedência de bibliografia relacionada com a temática em estudo, o meu muito obrigado.

Ao meu supervisor de estágio, Professor Doutor Jorge José De Magalhães Mendes, por me ter proporcionado a realização do estágio na Câmara Municipal de Amarante e pelo modo como me acolheu e integrou nos serviços.

Ao Engenheiro Miguel Gomes, Chefe da Unidade Técnica de Projeto da Câmara Municipal de Amarante, por toda a sua disponibilidade e por me ter acolhido tão bem na sua equipa.

Ao Engenheiro Adão Cardoso, técnico na Câmara Municipal de Amarante, por toda a partilha de conhecimentos, pelos diversos esclarecimentos em obra, pela cedência de bibliografia e por me inculir o gosto pela literatura da área.

Ao Arquiteto João Mesquita, por partilhar comigo o seu local de trabalho, por todos os incentivos e por todos os seus conselhos, o meu muito obrigado.

Ao Sr. Luís, desenhador na Câmara Municipal de Amarante, pela partilha de conhecimentos de diversas áreas da Engenharia Civil e pelo fornecimento de bibliografia.

Ao Professor Doutor Helder I. Chaminé (DEG e LABCARGA|ISEP) pela cedência de inúmeros elementos bibliográficos, pela revisão do documento e por todos os esclarecimentos nos trabalhos de campo, o meu muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

À Professora Doutora Maria José Afonso (DEG e LABCARGA|ISEP) pelo esclarecimento de diversas dúvidas que surgiram no decorrer dos trabalhos de campo.

Ao Professor Doutor José Teixeira (LABCARGA|ISEP) por todo o auxílio nas modelações com softwares de cálculo automático, pela cedência de diversos elementos que constam no presente relatório e por todo o apoio na cartografia.

À Mestre Liliana Freitas (LABCARGA|ISEP) por toda a colaboração e apoio na realização das fichas de inspeção e na formatação do texto, o meu muito obrigado.

À empresa SkyCam por me ter concedido a oportunidade de obter imagens aéreas de alta qualidade, com recurso a um veículo aéreo não tripulado, “*drone*”.

Ao colega Rui Machado, Engenheiro Geotécnico, por toda a cooperação nos diversos trabalhos de campo realizados.

Ao meu amigo Pedro Ferraz, Engenheiro Civil, por todo o apoio prestado no decorrer da elaboração do presente trabalho, em particular na elaboração dos desenhos esquemáticos.

À minha namorada, que me acompanhou ao longo da minha formação académica, que sempre percebeu os meus humores, que me deu um apoio inigualável, que sempre me motivou a concluir o Mestrado e por tudo o que fez por mim, o meu muito obrigado.

À minha família materna, Carlos, Tiago, Anabela, Sandra e Avós, o meu eterno agradecimento por toda a ajuda, não só no decorrer da redação do presente relatório de estágio mas ao longo de toda a minha formação, por compreenderem as minhas más disposições, por estarem sempre ao meu lado e por me motivarem a ser sempre melhor.

Por fim, mas o agradecimento mais especial, à minha Mãe, que foi a pessoa que me educou, que sempre me apoiou, que sempre me deu os melhores conselhos e que tudo fez em prol de mim, o meu muito obrigado.

ÍNDICE DE TEXTO

1	Introdução.....	1
1.1	Considerações Iniciais.....	1
1.2	Objetivos do relatório de estágio.....	3
2	Estudo de taludes em maciços rochosos.....	5
2.1	Taludes	5
2.2	Rochas	5
2.2.1	Formação das rochas.....	5
2.2.2	Tipos de rochas.....	7
2.3	Descontinuidades.....	12
2.3.1	Tipos de descontinuidades	13
2.4	Classificações de maciços rochosos	16
2.4.1	Classificação de acordo com o grau de alteração e fraturação de maciços rochosos.....	16
2.4.2	Classificações geomecânicas	17
2.5	Tipos de rotura	28
2.5.1	Deslizamentos	28
2.6	Fatores que condicionam a estabilidade.....	33
2.6.1	Fatores naturais.....	33
2.6.2	Atividade humana.....	35
3	A instabilidade de taludes	37
3.1	Introdução	37
3.2	Rotura Planar	42
3.3	Rotura em Cunha.....	44
3.4	Tombamento	46
3.5	Análise da estabilidade de taludes de acordo com o Eurocódigo 7.....	51
3.5.1	Taludes naturais e taludes de escavação em maciços rochosos.....	53
3.6	Avaliação da segurança de taludes e modelação da queda de blocos com recurso a programas de cálculo automático	54

3.6.1	Rocfall 4.0	55
3.6.2	Swedge	61
4	Perigosidade, Vulnerabilidade e Risco em taludes	65
4.1	Definições de perigosidade, vulnerabilidade e risco	65
4.2	Levantamento da perigosidade e do risco	67
4.3	Prevenção e atenuação dos riscos	69
5	Inspeção de taludes.....	71
6	Avaliação da qualidade de taludes rochosos.....	87
7	Soluções de proteção ou de estabilização	93
7.1	Saneamento de elementos	93
7.2	Realização de banquetas	94
7.3	Injeções em maciços rochosos.....	95
7.4	Muros e barreiras rígidas.....	95
7.5	Ancoragens.....	97
7.6	Pregagens.....	98
7.7	Valas de retenção	100
7.8	Redes de aço.....	100
7.9	Barreiras flexíveis.....	102
7.10	Drenagem	104
7.11	Vegetação	105
8	Caso de Estudo: vertentes rochosas de S. Simão	107
8.1	Enquadramento histórico do concelho de Amarante	107
8.2	Localização da vertente.....	109
8.3	Declive da vertente	112
8.4	Geologia e geomorfologia	113
8.5	Sismicidade	116
8.5.1	Requisitos de desempenho e critérios de conformidade.....	116
8.5.2	Identificação dos tipos de terreno	117
8.5.3	Tipos de ação sísmica e zonas sísmicas	118
8.5.4	Registos sísmicos nos arredores de S. Simão	122
8.6	Dados de precipitação	124
8.7	Ocorrência de incêndios na zona da vertente	127
8.8	Registo da queda de um bloco	128

8.9	Imagem aérea da vertente de S. Simão	129
8.10	Divisão da vertente em setores.....	131
8.11	Inspeção da vertente	132
8.12	Análise da estabilidade de blocos	134
8.12.1	Considerações relativas ao eventual tombamento do bloco.....	135
8.12.2	Ao deslizamento	135
8.12.3	Ao tombamento	141
8.13	Avaliação da segurança com recurso a programas de cálculo automático.....	143
8.14	Soluções de proteção	155
9	Conclusões	161
	Bibliografia	165
	Anexos	171

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - O ciclo das rochas numa perspetiva das geociências de engenharia: uma visão dinâmica da formação das rochas e dos solos, donde se destaca o posicionamento da mecânica das rochas e da mecânica dos solos (adaptado de Chaminé et al., 2013).....	7
Figura 2.2 - Exemplo de diaclases (www.geowiki.fr)	14
Figura 2.3 - Principais tipos de falhas (adaptado de Grotzinger et al., 2010).	15
Figura 2.4 - Métodos de suporte sugeridos de acordo com o SMR (Romana, 1997).	24
Figura 2.5 - Determinação do valor do GSI (adaptado de Hoek et al. 1998).	27
Figura 2.6 - Rotura planar (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	29
Figura 2.7 - Rotura em cunha (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).....	30
Figura 2.8 - Rotura em curva (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).....	30
Figura 2.9 - Tombamento (Highland & Bobrowsky, 2008).....	31
Figura 2.10 - Desprendimentos (Highland & Bobrowsky, 2008).....	32
Figura 3.1 - Forças atuantes numa superfície de rotura de um talude (adaptado de González de Vallejo et al., 2002)	42
Figura 3.2 - Forças atuantes sobre uma superfície de deslizamento plana (adaptado de González de Vallejo et al., 2002)	43
Figura 3.3 - Forças presentes numa superfície de deslizamento plana com fendas de tração (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	44
Figura 3.4 - Forças atuantes sobre os planos que formam a cunha (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	44
Figura 3.5 - Ábacos de Hoek & Bray (1981) para o cálculo do coeficiente de segurança de uma cunha (adaptado por Monteiro, 2008).	46
Figura 3.6 - Modelo geométrico para a análise da estabilidade por tombamento (adaptado de González de Vallejo et al., 2002)	48

Figura 3.7 - Forças atuantes num bloco sujeito a tombamento ou deslizamento (adaptado de González de Vallejo et al., 2002)	49
Figura 3.8 - Introdução das características dos materiais no programa de cálculo automático “Rocfall 4.0”.....	55
Figura 3.9 - Introdução das características da barreira no programa de cálculo automático “Rocfall 4.0”.	56
Figura 3.10 - Simulação da trajetória de blocos rochosos num talude com diferentes tipos de terreno e com a introdução de uma barreira com capacidade suficiente para reter blocos rochosos.	57
Figura 3.11 - Escolha das unidades do projeto e do tipo de análise a utilizar.	62
Figura 3.12 - Exemplo de uma rotura em cunha com presença de forças.....	62
Figura 5.1 – Ficha de inspeção, proposta, por setor.	76
Figura 5.2 - Ficha de inspeção por bloco potencialmente instável	85
Figura 7.1 - Utilização do martelo hidráulico para remoção de blocos de rocha do talude (Highland & Bobrowsky, 2008).....	94
Figura 7.2 - Desenho esquemático de banquetas (Highland & Bobrowsky, 2008).	95
Figura 7.3 - Muro de gabiões (www.geradordeprecos.info).....	96
Figura 7.4 - Ancoragem pré-esforçada definitiva em solos para estabilização natural (adaptado por Fernandes, 2011).	98
Figura 7.5 - Cabeça de ancoragem instrumentada com célula dinamométrica (Fernandes, 2011).....	98
Figura 7.6 - Pormenor da cabeça de uma pregagem aplicada num talude rochoso.....	99
Figura 7.7 – Utilização, simultânea, de rede metálica de alta resistência e pregagens.	100
Figura 7.8 – Utilização, em simultâneo, dos dois tipos de redes.	101
Figura 7.9 - Alçado esquemático de uma barreira metálica com todos os elementos necessários para a sua utilização (Fonte: “Geobrugg”).	102
Figura 7.10 – Barreira flexível (www.metalwiremesh.net).	103
Figura 7.11 - Barreira flexível do tipo “GBE” da “Geobrugg” (www.geobrugg.com).	103
Figura 7.12 - Encaminhamento da água superficial num talude.....	104
Figura 7.13 – Esquema de drenagem profunda (www.iitbhu.ac.in/faculty).....	105
Figura 8.1 – Ponte sobre o Rio Tâmega e Mosteiro de S. Gonçalo (Vieira, 1887).....	108
Figura 8.2 - Portugal continental: localização do concelho de Amarante (Google Earth).	109
Figura 8.3 - Localização da vertente rochosa de S. Simão. Vista da Rua do Ribeiro.	110

Figura 8.4 – Localização geográfica da área de S. Simão.	111
Figura 8.5 - Afloramentos rochosos presentes na vertente de S. Simão.	111
Figura 8.6 – Mapa de declives da área de S. Simão.	112
Figura 8.7 - Enquadramento geológico da área de Gouveia (S. Simão), Amarante (revisto e actualizado de Teixeira et al., 1967).....	114
Figura 8.8 - Geomorfologia da área de Gouveia (S. Simão), Amarante.	115
Figura 8.9 - Zonamento sísmico em Portugal continental: ação sísmica tipo 1 e ação sísmica tipo 2 (www.ualg.pt).	118
Figura 8.10 - Sismicidade da área de S. Simão: A - zonas de intensidade máxima (escala internacional); B - Isossistas de intensidades máximas, escala de Mercalli Modificada de 1956; C – Sismos ocorridos na região, em Julho e Agosto de 2004 (IPMA).	123
Figura 8.11 - Marcas do incêndio na vertente de S. Simão.....	127
Figura 8.12 - Danos causados pelo incêndio na vertente de S. Simão.....	128
Figura 8.13 - Bloco rochoso que atingiu a garagem da habitação.	129
Figura 8.14 - Imagem aérea da vertente de S. Simão.	130
Figura 8.15 - Divisão da vertente de S. Simão em setores.....	131
Figura 8.16 – Componente do peso (P) e da sobrecarga (Q) presentes no bloco rochoso BL1.....	135
Figura 8.17 - Bloco rochoso BL1.....	136
Figura 8.18 - Forças presentes no bloco rochoso BL1.....	136
Figura 8.19 - Cargas presentes no bloco BL1.	138
Figura 8.20 - Decomposição da força T, segundo a direção do perfil metálico.	139
Figura 8.21 - Perfil metálico do tipo “HEA.”	140
Figura 8.22 - Bloco rochoso BL6.....	141
Figura 8.23 - Esquema ilustrativo do bloco BL6 (sem escala).	142
Figura 8.24 - Trajetórias obtidas através do modelo 3D.....	145
Figura 8.25 - Trajetória bidimensional do bloco rochoso que atingiu a garagem.	146
Figura 8.26 - Garagem da habitação.....	147
Figura 8.27 – Local de origem do bloco rochoso que atingiu a garagem.....	147
Figura 8.28 - Modelação do bloco rochoso que atingiu a garagem.....	148

Figura 8.29 - Blocos rochosos selecionados para a modelação.	151
Figura 8.30 - Modelação do bloco rochoso BL2.....	152
Figura 8.31 - Bloco rochoso BL2 e habitação que se encontra na base da vertente, a cota superior.	152
Figura 8.32 - Garagem e habitação que poderão ser atingidas pelos blocos BL1, BL2, BL5 e BL6.....	153
Figura 8.33 - Modelação do bloco rochoso BL1.	153
Figura 8.34 - Modelação do bloco rochoso BL2.	154
Figura 8.35 - Modelação do bloco rochoso BL5.	154
Figura 8.36 - Modelação do bloco rochoso BL6.	155
Figura 8.37 - Colocação de um perfil metálico no bloco rochoso BL1.	156
Figura 8.38 - Vista em planta das barreiras flexíveis na vertente de S. Simão.....	158
Figura 8.39 – Corte transversal da barreira flexível a colocar na vertente de S. Simão.....	159

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Principais tipos de rochas magmáticas em Portugal (Carvalho, 2005).	8
Quadro 2.2 - Principais tipos de rochas metamórficas em Portugal (Carvalho, 2005).	10
Quadro 2.3 - Principais tipos de rochas sedimentares em Portugal (Carvalho, 2005).	12
Quadro 2.4 - Classificação das descontinuidades (adaptado de ISRM, 1981).	13
Quadro 2.5 - Parâmetros para caracterização dos maciços rochosos, segundo a ISRM (1981).	16
Quadro 2.6 - Parâmetros para caracterização dos maciços rochosos em função do afastamento das descontinuidades, segundo a ISRM (1981).	17
Quadro 2.7 - Classificação geomecânica RMR (adaptado de Bieniawski, 1989).	21
Quadro 2.8 - Classificação geomecânica SMR (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	23
Quadro 2.9 - Classes do maciço rochoso de acordo com o valor do GSI obtido.	27
Quadro 3.1 – Fatores de segurança mínimos recomendados pela NBR 11682 (ABNT, 2009).	38
Quadro 3.2 – Fatores de segurança mínimos recomendados pela GeoRio (GeoRio, 2000).	39
Quadro 3.3 – Fatores de segurança mínimos recomendados pela Eletrobrás (Eletrobrás, 2003).	39
Quadro 3.4 - Estados limites.	51
Quadro 3.5 - Ações a considerar na verificação da segurança relativamente aos diferentes estados limites.	52
Quadro 3.6 - Aspectos a considerar na escolha do método de cálculo.	53
Quadro 3.7 - Coeficientes de restituição normal e tangencial de materiais pré-definidos no “Rocfall 4.0”.	59
Quadro 3.8 - Coeficientes de restituição em diversos locais.	60
Quadro 5.1 - Informações que devem constar na ficha de inspeção.	72
Quadro 5.2 - Aspectos a caracterizar na ficha de inspeção.	72
Quadro 5.3 - Aspectos a observar na inspeção de blocos potencialmente instáveis.	77
Quadro 5.4 - Anomalias mais comuns em blocos de taludes rochosos.	78

Quadro 5.5 - Caracterização da anomalia.....	78
Quadro 5.6 - Caracterização da anomalia para obtenção do nível de gravidade.	79
Quadro 5.7 - Fator de agravamento a considerar em função do número de anomalias.....	79
Quadro 5.8 - Intervalos de gravidade e classificação final da anomalia.	80
Quadro 5.9 - Hierarquização segundo o nível de gravidade.	81
Quadro 6.1 - Classificação quantitativa, qualitativa e quanto ao nível de risco de um talude de escavação em rocha (Pinheiro et al., 2015).....	88
Quadro 6.2 - Peso de cada fator para o cálculo do índice de qualidade (Pinheiro et al., 2015).	89
Quadro 6.3 - Sistema SQL: determinação do índice de qualidade de taludes (Pinheiro et al., 2015).	90
Quadro 8.1 - Tipos de terreno (NP EN 1998-1).	117
Quadro 8.2 - Aceleração máxima de referência a_{BR} (m/s^2) nas várias zonas sísmicas (NP EN 1998-1).....	119
Quadro 8.3 – Classes de importância para os edifícios (NP EN 1998-1).	119
Quadro 8.4 – Coeficientes de importância, γ_I (NP EN 1998-1).....	120
Quadro 8.5 – Valores do fator S_{max} do solo de fundação para as ações sísmicas Tipo 1 e Tipo 2 (Anexo Nacional, NP EN 1998-1: 2010).	121
Quadro 8.6 - Valores do fator de amplificação topográfica, S_T (adaptado de NP EN 1998-5: 2010).....	121
Quadro 8.7 - Boletim de precipitação - Amarante 2004/2005 (www.snirh.apambiente.pt).....	125
Quadro 8.8 - Boletim de precipitação - Amarante 2003/2004 (www.snirh.apambiente.pt).....	125
Quadro 8.9 - Boletim de precipitação - Amarante 2002/2003 (www.snirh.apambiente.pt).....	125
Quadro 8.10 - Avaliação do setor mais problemático.....	133
Quadro 8.11 - Hierarquização dos blocos por nível de gravidade.	133
Quadro 8.12 - Conjunto de valores que permitem obter uma altura de chegada de 70cm.....	150

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente estudo enquadra-se na Unidade Curricular Dissertação/Projeto/Estágio (DIPRE), do 2º ano do Curso de Mestrado em Engenharia Civil – Ramo de Estruturas, do Departamento de Engenharia Civil (DEC), do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) do Instituto Politécnico do Porto. Trata-se de um trabalho desenvolvido durante um estágio curricular realizado na Câmara Municipal de Amarante (CMA), supervisionado pelo Professor Doutor Jorge Mendes, Vice-Presidente da CMA e orientado pelo Professor Engenheiro José Filinto Trigo, contando ainda com a colaboração de uma equipa multidisciplinar de geociências de engenharia constituída pelos Professores Doutores Helder I. Chaminé, Maria José Afonso, José Teixeira e a Mestre Liliana Freitas.

O presente trabalho surgiu devido ao facto de em Amarante existir um conjunto significativo de instabilizações em taludes. No Lugar do Casal, Freguesia de São Simão, encontra-se uma vertente com elevada inclinação, contendo na sua crista inúmeros blocos rochosos que já terão sido objeto de exploração. Um desses blocos rolou pela vertente e atingiu a garagem de uma habitação. Uma vez que há o risco de novos blocos provocarem danos nas habitações instaladas no sopé da vertente rochosa, é imprescindível realizar a inspeção, a avaliação da segurança e apresentar uma proposta de solução de proteção e de estabilização para a vertente mencionada.

O presente relatório de estágio tem como objetivo, numa primeira fase, aprofundar o estudo de taludes rochosos e, numa segunda fase, realizar uma aplicação ao caso de estudo real acima referido.

Os trabalhos iniciaram-se em Fevereiro de 2015, em simultâneo com o estágio curricular. Primeiramente, entre Fevereiro e Abril, optou-se por recolher toda a informação existente acerca da vertente alvo de estudo e por realizar uma extensa pesquisa bibliográfica dos assuntos considerados pertinentes. Posteriormente, entre Maio e Setembro, realizou-se o trabalho de campo, tendo sido efetuadas diversas visitas ao local com o intuito de observar criteriosamente a vertente. Em campo, foi possível afinar as fichas de inspeção, realizar um detalhado levantamento fotográfico, inspecionar

a vertente, recolher informações de modo a que fosse possível simular a trajetória dos blocos rochosos e, consequentemente, avaliar a sua segurança e observar quais as possíveis soluções de proteção e (ou) de estabilização a adotar. Uma vez que se trata de um trabalho multidisciplinar foi possível, ainda, realizar tarefas que permitiram adquirir novos conhecimentos e novas competências que poderão ser muito úteis no futuro, como a utilização de programas de cálculo automático associados à queda de blocos rochosos e à estabilidade de cunhas, a medição das atitudes das descontinuidades, a realização de ensaios não destrutivos em maciços rochosos, entre outras.

Os temas abordados neste relatório de estágio foram estruturados em 8 capítulos, para além de a presente Introdução.

No Capítulo 2 pretende-se iniciar o estudo de taludes rochosos. Referem-se os principais tipos de rochas presentes em Portugal, realça-se a importância das descontinuidades no comportamento do maciço rochoso, apresentam-se as principais classificações geomecânicas, abordam-se os principais modos de rotura em maciços rochosos e, por fim, descrevem-se sumariamente os fatores que condicionam a estabilidade de um maciço rochoso, referindo-se quer os fatores naturais, quer os associados à atividade humana.

No Capítulo 3 aborda-se a temática da instabilidade de taludes. Apresenta-se, para cada modo de rotura, um método de análise da estabilidade, aspeto essencial que servirá de base à utilização de programas de cálculo automático; apresentam-se as recomendações sugeridas na NP EN 1997-1 para a análise da estabilidade de taludes e, por fim, descrevem-se os programas de cálculo automático utilizados no caso de estudo.

No Capítulo 4 definem-se os conceitos de perigo, risco e vulnerabilidade em taludes, demonstrando como se pode caracterizar o perigo e avaliar o risco, referindo possíveis medidas atenuantes.

No Capítulo 5 descreve-se a metodologia de inspeção idealizada para o talude rochoso de S. Simão, apresentando-se as fichas de inspeção por setor e por bloco rochoso potencialmente instável.

No Capítulo 6 apresenta-se o método de avaliação da qualidade de taludes (SQI) proposto por Pinheiro et al. (2015) e desenvolvido para taludes adjacentes a auto-estradas, que permite hierarquizar, de acordo com o nível de risco, as intervenções a realizar nos taludes.

No Capítulo 7 descrevem-se as principais soluções de proteção ou de estabilização adotadas para evitar ou atenuar os fenómenos de instabilização em taludes rochosos.

No Capítulo 8 trata-se o caso de estudo, realiza-se uma breve introdução histórica da cidade de Amarante, apresenta-se o registo da queda de um bloco rochoso, apresentam-se dados geológico-geotécnicos, sísmicos e de precipitação do concelho, evidenciam-se os aspetos mais relevantes verificados no decorrer das inspeção da vertente, coloca-se em prática as metodologias de análise da estabilidade abordadas no Capítulo 3, apresenta-se a modelação da queda de um conjunto de blocos rochosos criteriosamente selecionados, recorrendo ao programa de cálculo automático *“Rocfall 4.0”* e, por fim, apresentam-se as soluções de proteção e de estabilização sugeridas.

No Capítulo 9 apresentam-se as principais conclusões e recomendações para desenvolvimentos futuros.

1.2 OBJETIVOS DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO

Podem-se destacar como principais objetivos a alcançar com o presente relatório de estágio, os seguintes:

- recolha bibliográfica para aprofundamento dos conhecimentos teóricos diretamente relacionados com o caso de estudo proposto;
- compilar, sistematizar e tratar informações relativas ao caso de estudo proposto, recolhidas junto de vizinhos e da Câmara Municipal de Amarante.
- estudar métodos de análise da estabilidade de blocos rochosos com diferentes tipologias de instabilizações e, posteriormente, realizar a sua aplicação.
- estudar o funcionamento dos programas de cálculo automático *“Rocfall 4.0”* e *“Swedge”* da *“Rocscience”* e, subsequentemente, utilizá-los no caso de estudo.
- desenvolver e aplicar uma metodologia de inspeção para a vertente em estudo;
- analisar métodos de avaliação da qualidade de taludes rochosos propostos por outros autores;
- após a inspeção e a avaliação da segurança da vertente de S. Simão, propor soluções de proteção ou de estabilização.

2 ESTUDO DE TALUDES EM MACIÇOS ROCHOSOS

Em cenários geológico-geotécnicos que envolvem maciços rochosos e pendentes naturais ou artificiais de elevada inclinação são comuns fenómenos de instabilização que, uma vez identificados, deverão ser estudados e resolvidos.

“O comportamento de um maciço rochoso depende, geralmente, das características das descontinuidades (estratificação, diaclases, falhas) que apresenta, assim como da litologia da matriz rochosa e da sua história evolutiva”. (Instituto Tecnológico Geominero de Espanã, 1987)

2.1 TALUDES

Um talude pode ser definido como uma superfície inclinada que delimita um maciço terroso ou rochoso, originado por diferentes processos geológicos e geomorfológicos ou pela ação do Homem.

Os taludes podem ser naturais ou artificiais (de escavação ou de aterro). Definem-se como naturais os taludes *“decorrentes de deslizamentos, desmoronamentos, por rotura e deslizamento da massa rochosa, e por artificiais os taludes criados pelo Homem, de modo a conceber plataformas que permitam a criação de estradas, caminhos-de-ferro ou construção”* (Monteiro, 2008).

2.2 ROCHAS

2.2.1 Formação das rochas

O estudo do ciclo das rochas é preponderante para a compreensão da génese das rochas. Estudando este ciclo compreende-se as origens dos três tipos básicos de rochas, a saber: rochas magmáticas (ou ígneas), rochas metamórficas e rochas sedimentares. Estas rochas são formadas num ciclo geodinâmico, interno e externo, contínuo ao longo dos tempos geológicos donde resultam para fins

de engenharia (de Freitas, 2009), os designados maciços rochosos (rochas duras ou consolidadas) e maciços terrosos (rochas brandas ou solos), Chaminé et al. (2013).

As rochas magmáticas podem ser formadas tanto em profundidade como à superfície ou sub-superfície. Quando este fenómeno ocorre em profundidade o material arrefece lenta e gradualmente, ocorrendo a cristalização. Contrariamente, quando a erupção ocorre à superfície, o material arrefece rapidamente, ocorrendo a solidificação.

Quando as rochas magmáticas se encontram expostas à superfície sofrem meteorização, originando a sua desintegração e decomposição.

Os materiais resultantes desta desintegração/decomposição são transportados pelos agentes de erosão (água, vento, ondas, etc.). Estas partículas e substâncias dissolvidas são denominadas por sedimentos.

Após a sua deposição, os sedimentos sofrem um processo de litificação, mais propriamente a diagénese. Este processo ocorre quando os sedimentos são compactados pelo peso das camadas sobrejacentes ou à medida que a matéria mineral vai precipitando nos poros dos sedimentos, fazendo com que a água que aí se encontra seja removida, dando a sua cimentação. Deste modo, são formadas as rochas sedimentares.

Por outro lado, se qualquer tipo de rocha se encontra a grande profundidade ficará sujeita a altas pressões-temperaturas e a circulação de fluidos formando-se rochas metamórficas. Estas rochas quando sujeitas a modificações dos agentes geodinâmicos, podem ficar submetidas a um processo de fusão, total ou parcial, criando magma, voltando-se assim ao início do ciclo das rochas.

A Figura 2.1 ilustra o processo contínuo em que os materiais envolvidos na génese das rochas até formarem os distintos tipos de rochas, com o enfoque para estudos de geociências de engenharia, denominado ciclo geológico ou ciclo das rochas.

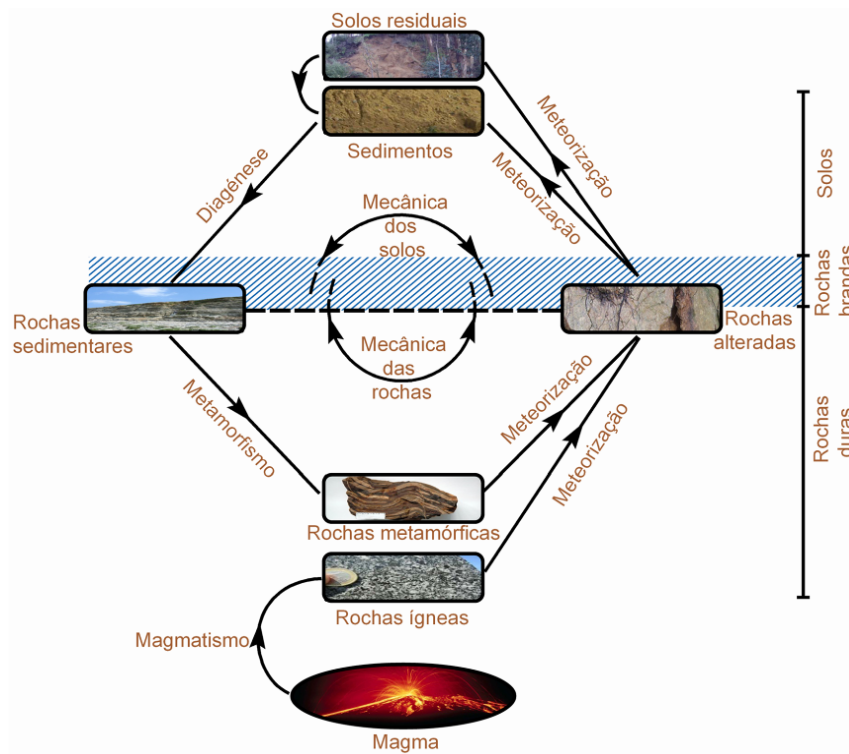


Figura 2.1 - O ciclo das rochas numa perspectiva das geociências de engenharia: uma visão dinâmica da formação das rochas e dos solos, donde se destaca o posicionamento da mecânica das rochas e da mecânica dos solos (adaptado de Chaminé et al., 2013).

2.2.2 Tipos de rochas

Tal como referido, as rochas presentes na crosta terrestre podem dividir-se em três grandes grupos (Grotzinger et al., 2010):

- Rochas Magmáticas;
- Rochas Metamórficas;
- Rochas Sedimentares.

A classificação das rochas é efetuada recorrendo à sua composição mineralógica, modo de jazida, estrutura, textura e cor, entre outras.

O modo de jazida e a estrutura são características determináveis em campo. A textura é uma característica facilmente observável em laboratório, tanto macroscópica como microscopicamente. A cor facilmente se observa tanto no campo como no laboratório, devendo ser observada em superfícies de corte “frescas” e depende da composição mineralógica das rochas.

As rochas magmáticas, resultantes da consolidação de magmas, classificam-se quanto à cor, essencialmente em três grandes grupos (Grotzinger et al., 2010):

- Rochas leucocratas: Apresentam uma cor clara e são normalmente constituídas por minerais félsicos (minerais de cor clara);
- Rochas mesocratas: Evidencia uma cor intermédia, sendo constituídas tanto por minerais félsicos como por minerais máficos (minerais de cor escura);
- Rochas melanocratas: É observável uma cor escura, sendo essencialmente constituídas por minerais máficos.

No Quadro 2.1 apresentam-se os principais tipos de Rochas Mágmatícas presentes em Portugal.

Quadro 2.1 - Principais tipos de rochas magmáticas em Portugal (Carvalho, 2005).

Principais Tipos de Rochas Mágmatícas em Portugal								
Rochas	Textura	Cor da Rocha	Minerais Principais	Densidade Média da Rocha	Produto de Alteração da Rocha	Classificação da Rocha	Ocorrência em Portugal	Aplicações Práticas da Rocha
Granito	Granular Porfiróide Pegmatítica Aplítica	Tons claros (cinza, amarelo, rosa)	Quartzo Feldspatos alcalinos Micas	2,65	Saibro (areias de quartzo e argilas)	Magmática Plutónica	Minho Beiras Alta e Baixa, Alentejo	Material de construção Rocha ornamental
Sienito	Granular Porfiróide	Tons claros (cinza, castanho)	Feldspatos alcalinos Micas Horneblenda	2,55	Siltes e Argilas de tons claros	Magmática Plutónica	Sintra, Monchique	Rocha ornamental
Diorito	Granular Porfiróide Pegmática	Tons escuros (castanho, verde, cinza)	Plagioclases Biotite Anfíbolos (Piroxenas)	2,8	Siltes e Argilas de tons fortes	Magmática plutónica	Beira Alta, Trás-os-Montes	Material de construção
Gabro	Granular Porfiróide	Tons escuros (verde escuro, preto)	Plagioclases Biotite, (Anfíbolos) Piroxenas Olivina	3	Argilas e siltes de cores quentes	Magmática Plutónica	Trás-os-Montes, Alentejo	Rocha ornamental
Riólito	Hemicristalina c/ ou s/ fenocristais	Tons claros, (vermelho, laranja, castanho claro)	Quartzo Feldspatos alcalinos Micas Horneblenda	2,65	Areias finas e argilas	Magmática Vulcânica	Açores	Rocha ornamental
Basalto	Hemicristalina c/ ou s/ fenocristais	Tons escuros (preto, verde escuro, azulado)	Plagioclases Biotite, (Anfíbolos) Piroxenas Olivina	3	Argilas e siltes de cores quentes	Magmática Vulcânica	Açores, Madeira, Lisboa	Material de construção Rocha ornamental

As rochas metamórficas, apresentadas no Quadro 2.2, como anteriormente mencionado, resultam de fenómenos desencadeados pela instalação de condições de pressão e temperatura elevadas de

rochas pré-existentes, pelo que é usual observar na sua composição minerais vulgares nas rochas magmáticas, no entanto, também são observáveis minerais resultantes do metamorfismo.

A caracterização das rochas metamórficas é usualmente realizada com base na sua estrutura, textura, cor e relação com formações vizinhas.

As rochas metamórficas podem ser divididas em três grandes grupos (Grotzinger et al., 2010):

- Rochas metamórficas físseis: todas as rochas metamórficas que partem facilmente ao longo de planos naturais (xistosidade e clivagem);
- Rochas metamórficas granulares com foliação: todas as rochas metamórficas de minerais recristalizados (foliação). A rocha não se destaca naturalmente ao longo dos planos definidos por esses minerais;
- Rochas metamórficas granulares sem foliação: todas as rochas metamórficas granulares cujos grãos se encontram homogeneamente distribuídos em toda a massa, sem criar alinhamentos preferenciais.

Quadro 2.2 - Principais tipos de rochas metamórficas em Portugal (Carvalho, 2005).

Principais Tipos de Rochas Metamórficas em Portugal							
Rochas	Textura	Cor da Rocha	Minerais Principais	Densidade Média da Rocha	Classificação da Rocha	Ocorrência em Portugal	Aplicações Práticas da Rocha
Mármore	Granoblástica	Tons claros	Calcite Dolomite	2,7	Metamórfica carbonatada (m. regional)	Estremoz, Vila Viçosa, Alentejo	Rocha ornamental
Corneana	Granoblástica	Tons escuros	Andalusite Cordiérite	2,9	Metamórfica siliciosa (m. contacto)	Minho, Beiras Alta e Baixa	Material de construção (brita)
Gnaise	Granoblástica Porfiroblástica	Clara com bandas negras	Quartzo Feldspatos alcalinos Biotite	2,7	Metamórfica quartzífera (m. regional)	Trás-os-Montes, Beira Alta	Material de construção (enrocamento)
Micaxisto	Granoblástica	Cinza brilhante	Sericite Moscovite (Quartzo)	2,8	Metamórfica micácea (m. regional)	Trás-os-Montes, Beira Alta	Pequenos muros rurais
Ardósia	Granoblástica	Cinzentos escuros baço, negro	Sericite Clorite (Quartzo)	2,6	Metamórfica siliciosa (m. regional)	Valongo Arouca	Material de construção (revestimento)
Xistos Argilosos	Granoblástica	Cinza, Amarelo, Castanho	Clorite Sericite	2,7	Metamórfica siliciosa (m. regional)	Alto Douro, Beiras, Alentejo	Pequenos muros rurais
Quartzitos	Granoblástica	Tons claros	Quartzo	2,7	Metamórfica siliciosa (m. regional)	Beiras, Alentejo	Material de construção (brita)

No que respeita às rochas sedimentares a sua formação começa sempre numa ou em várias rochas pré-existentes que constituem fonte de matéria-prima que será transportada e sedimentada, possibilitando a formação de depósitos sedimentares, que evoluem lenta ou rapidamente para os diferentes tipos de rochas sedimentares.

O depósito sofre um conjunto de transformações para se adaptar às novas condições físicas e químicas. Esse conjunto de transformações denomina-se por diagénese.

A diagénese é composta por alguns processos:

- Compactação;

- Dissolução;
- Cimentação;
- Recristalização diagenética.

Durante este processo ocorrem alterações na textura, forma e mineralogia dos grãos, na porosidade do depósito e criam-se novos componentes mineralógicos sob a forma de cimentos.

Deste modo, e em função da sua génese, são normalmente considerados quatro grandes grupos de rochas sedimentares (Grotzinger et al., 2010):

- Rochas sedimentares detríticas – os seus componentes mais vulgares são quartzo, feldspato, micas, minerais neo-formados e, por vezes, restos vegetais. Podem ser:
 - Consolidadas: detritos consolidados por interposição de cimentos e/ou ações mecânicas;
 - Não consolidadas: rochas constituídas por detritos não consolidados;
- Rochas sedimentares de precipitação química – rochas de composição química homogénea. Quando estas rochas são constituídas por sais solúveis em água e a precipitação se deu devido à ocorrência de evaporação, as rochas formadas designam-se por Salinas ou Evaporitos.
- Rochas sedimentares biogénicas – rochas com origem relacionada com a atividade de seres vivos, salientando-se os corais, cré, os calcários conquíferos e as brechas ósseas.
- Rochas sedimentares carbonosas – rochas constituídas por restos de vegetais e matéria intersticial homogénea.

No Quadro 2.3 resumem-se as características e aplicações das principais rochas sedimentares presentes em Portugal.

Quadro 2.3 - Principais tipos de rochas sedimentares em Portugal (Carvalho, 2005).

Principais Tipos de Rochas Sedimentares em Portugal							
Rochas	Cor da Rocha	Minerais Principais	Densidade Média da Rocha	Produto de Alteração da Rocha	Classificação da Rocha	Ocorrência em Portugal	Aplicações Práticas da Rocha
Calcário	Tons claros	Calcite	2,6	Areias carbonatadas, terra rossa	Sedimentar de precipitação	Beira Litoral, Algarve	Rocha ornamental Material de construção (cal, brita, cimento)
Margas	Cinza, Azulado, Esverdeado	Argilas e Carbonatos	2,7	Argilas	Sedimentar detrítica carbonatada	Beira Litoral, Algarve	Material de construção (cimento) Correção de terrenos agrícolas
Argilas	Tons claros (creme, verde, vermelho)	Argilas. Pó de Quartzo, Micas e Feldspatos	2,6	-	Sedimentar detrítica incoerente	Beira Litoral, Bacias do Tejo e Sado, Algarve	Material de construção (cerâmica, impermeabilizante, agregados leves), Cosmética
Areias	Muito variada	Grãos de Quartzo, Micas e outros Silicatos	1,7 a 2,1	-	Sedimentar detrítica incoerente	Depósitos de cobertura recentes (todo o País)	Material de construção (inertes, leitos de plataformas, drenos) Química (cargas, filtros)
Arenitos	Tons claros (creme, branco, vermelho)	Grãos de Quartzo e outros Silicatos	2,5	Areias	Sedimentar detrítica coerente	Beira Litoral, Bacias do Tejo e Sado, Algarve	Material de construção (alvenarias) Cerâmica (se feldspáticos) Abrasivos (se siliciosos)
Conglomerados	Tons claros	Elementos líticos variados	2,3 a 2,7	-	Sedimentar detrítica coerente	Beira Litoral, Bacias do Tejo e Sado	Rocha ornamental
Salgema	Branco, cinza e laranja	Halite (NaCl)	2,1	Soluções Aquosas	Sedimentar de precipitação	Rio Maior, Porto de Mós	Indústria alimentar (Sal) Química (ácido clorídrico, soda cáustica)
Gesso/Anidrite	Tons claros	Gesso (CaSO ₄)	2,3	Soluções aquosas	Sedimentar de precipitação	Óbidos, Soure, Monte Real	Material de construção (estuques, placas) Química (cargas)

2.3 DESCONTINUIDADES

As descontinuidades ou planos de debilidade do maciço designam-se como qualquer entidade geológica que interrompa a continuidade física de uma dada formação, condicionando as

propriedades geotécnicas de inúmeros taludes, uma vez que diminuem a resistência ao corte e aumentam a permeabilidade (ISRM, 1981; Bell, 1992).

Pode-se denominar como descontinuidade um qualquer plano de separação no maciço rochoso, que pode ter origem (Bell, 1992):

- sedimentar (superfícies de estratificação ou de laminação);
- diagenética (estruturas filoneanas);
- tectónico-metamórfica (xistosidades, diaclases e falhas).

2.3.1 Tipos de descontinuidades

De acordo com a descrição de descontinuidades apresentada anteriormente, estas podem ser de várias origens e de várias formas (Quadro 2.4).

A ISRM (1981) divide as descontinuidades em sistemáticas, quando ocorrem sistematicamente ao longo do maciço rochoso e por isso se podem agrupar para a caracterização das mesmas, e em singulares, quando são únicas e apresentam características que as diferenciam de todas as outras, tendo a sua caracterização de ser feita separadamente.

Quadro 2.4 - Classificação das descontinuidades (adaptado de ISRM, 1981).

Descontinuidades	Sistemáticas	Singulares
Planares	Planos de estratificação Planos de laminação Planos de xistosidade Diaclases e fissuras	Falhas Filões Discordâncias
Lineares	Interseção de descontinuidades planares Lineações	Eixos de dobras

A frequência do aparecimento de descontinuidades está relacionada com as características do maciço rochoso e com as tensões tectónicas atuantes. Diaclases são descontinuidades que compartimentam os maciços rochosos, sendo normalmente formadas por forças tectónicas ou ainda

devido à expansão das próprias rochas. O processo de erosão remove as camadas superficiais e à medida que estas camadas são removidas, as camadas inferiores ficam sujeitas a pressões menores, permitindo a expansão das rochas e o desenvolvimento de diaclases.

Este tipo de descontinuidade é caracterizada pela sua extensão, forma de superfície de fratura, espaçamento e enchimento.

A existência destas superfícies estruturais (Figura 2.2) possibilita a penetração de fluidos nas rochas, contribuindo para a acumulação de águas subterrâneas, bem como para a alteração das propriedades das rochas, diminuindo a sua capacidade resistente. Através das diaclases, as raízes das plantas podem penetrar profundamente provocando um aumento da fragmentação.



Figura 2.2 - Exemplo de diaclases (www.geowiki.fr).

No que se refere às falhas, estas podem ser consideradas como descontinuidades ao longo das quais ocorre movimentação.

Este fenómeno deve-se, em grande parte, às elevadas pressões e temperaturas a que os materiais estão sujeitos, levando a que atinjam o seu limite de resistência e posteriormente entrem em rotura.

Uma falha resulta de um acidente tectónico que ocorre no maciço rochoso, originando um deslocamento relativo entre dois blocos, sendo a superfície ao longo da qual ocorre o deslocamento designada por superfície ou plano de falha.

Estes incidentes desenrolam-se quando as tensões de compressão, de tração ou tangenciais que se exercem nos maciços rochosos ultrapassam o ponto de rotura.

As falhas podem assumir diferentes tipologias, de acordo com o seu plano de falha e com o movimento relativo entre os blocos (Figura 2.3):

- falha normal: resultante de forças de tração;
- falha Inversa: resultante de forças de compressão;
- falha de desligamento: deslocamento dos blocos na horizontal.

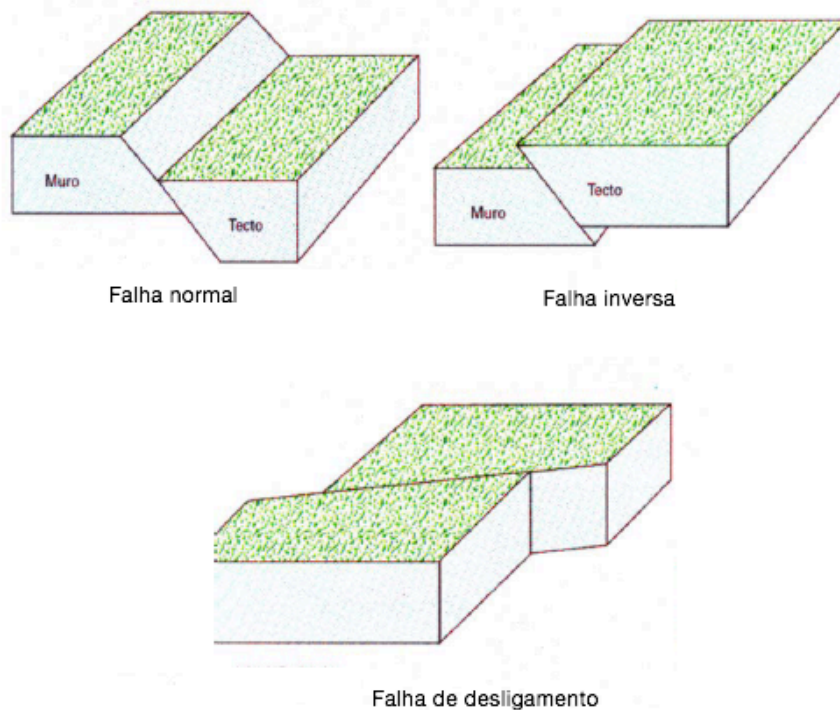


Figura 2.3 - Principais tipos de falhas (adaptado de Grotzinger et al., 2010).

No que se refere à estratificação, pode designar-se como uma descontinuidade paralela à superfície de deposição dos sedimentos, a qual pode ou não ter uma expressão física.

Os planos de xistosidade (descontinuidade sistemática planar) resultam de fenómenos tectónicos ocorridos a elevadas pressões e temperaturas numa dada formação geológica (normalmente em rochas metamórficas), dando origem a elevadas tensões de compressão e, consequentemente, a descontinuidades perpendiculares à ação exercida.

2.4 CLASSIFICAÇÕES DE MACIÇOS ROCHOSOS

2.4.1 Classificação de acordo com o grau de alteração e fraturação de maciços rochosos

A qualidade dos maciços rochosos depende, em grande parte, do seu estado de alteração e de fraturação. A presença de água nas discontinuidades coloca em causa a estabilidade do maciço, devendo, por isso, ser verificada a sua ocorrência.

A avaliação do estado de alteração do maciço rochoso é realizada visualmente, por observação direta do bloco rochoso. Com o intuito de analisar as rochas com uma maior precisão pode-se, com o auxílio de um martelo de mão, fragmentá-la, de modo a analisar a maior ou menor facilidade com que se partem. De acordo com o que é observável deve ser atribuído um grau de alteração. A ISRM (1981) propôs que os graus de alteração a considerar fossem constituídos por 5 níveis.

O Quadro 2.5 apresenta os 5 graus de alteração (W) e, para cada um desses graus, uma descrição da condição da rocha.

Quadro 2.5 - Parâmetros para caracterização dos maciços rochosos, segundo a ISRM (1981).

Grau de alteração	Simbologia		Descrição	
Sã ou não alterada	W1	W1 - W2	Não se observam sinais de alteração na matriz rochosa.	Rocha sã e compacta. Descontinuidades fechadas. Permeabilidade quase nula.
Pouco alterada	W2		Alterações na cor original da matriz rochosa (descoloração).	
Moderadamente alterada	W3	W3	Menos de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo, mantendo-se a fábrica original da rocha.	Maciço mais ou menos sã, intersectado por descontinuidades abertas
Muito alterada	W4	W4 - W5	Mais de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo, a rocha é muito friável.	Rocha alterada a muito alterada ou decomposta. Permeabilidade do tipo intersticial. Pode coexistir uma circulação fissural
Completamente alterada	W5		Todo o material rochoso está muito decomposto e/ou desagregado, tendo-se transformado num solo residual.	

O espaçamento (ISRM, 1981) é a distância média entre descontinuidades sucessivas medida segundo a intersecção com a linha de amostragem (“scanline”; Chaminé et al., 2015). Este conceito (que a ISRM, 1981 designou por “*fracture intercept*”) não pressupõe, tal como refere a ISRM (1981), uma

estimativa do espaçamento entre descontinuidades da mesma família, mas em relação ao espaçamento entre todas as descontinuidades cartografadas, se possível segundo uma linha de amostragem, no maciço.

O estado de fraturação do maciço rochoso está definido pelo número, espaçamento e condições das descontinuidades, qualquer que seja a sua origem e classe.

De acordo com a classificação elaborada pela ISRM (1981), o grau de fraturação (F) pode ser caracterizado em 5 classes, como se apresenta no Quadro 2.6.

Quadro 2.6 - Parâmetros para caracterização dos maciços rochosos em função do afastamento das descontinuidades, segundo a ISRM (1981).

Afastamento entre descontinuidades (cm)	Simbologia		Designações	
> 200	F1	F1-2	Muito afastadas	Afastadas
60 - 200	F2		Afastadas	
20 - 60	F3	F3	Medianamente Afastadas	
6 - 20	F4	F4-5	Próximas	Próximas
< 6	F5		Muito próximas	

A avaliação do grau de fraturação de um maciço rochoso pode ser realizada através da contagem do número de diaclases por metro. Embora exista uma relação entre este índice e os valores anteriores, a extrapolação dos resultados só será admissível se o afastamento entre descontinuidades for semelhante.

2.4.2 Classificações geomecânicas

As classificações geomecânicas constituem um sistema de comunicação universal entre os engenheiros, geólogos, etc., melhorando o conhecimento do comportamento do maciço rochoso. (Romana, 1997)

Os maciços rochosos, como meios descontínuos, apresentam um comportamento geomecânico complexo, que de uma forma simplificada pode ser estudado em função da sua aptidão para distintas aplicações. As classificações geomecânicas surgiram com o objetivo de analisar e classificar, simplificadamente, o comportamento de um dado maciço rochoso.

Os índices geotécnicos e as classificações geomecânicas mais relevantes são as seguintes (Hoek, 2007):

- Rock Load Mass Classification System de Terzaghi (1946);
- Rock Quality Designation Index (RQD) de Deere et al. (1967) e atualizações de Palmstrom (1995);
- Rock Structure Rating (RSR) de Wickham et al. (1972, 1974);
- Rock Tunnelling Quality Index (Q) de Barton et al. (1974, 1980) e atualizações de Q_{TBM} de Barton (2000);
- Basic Geotechnical Description of Rock Masses (BGD) da ISRM (1981);
- Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski (1973, 1976, 1984, 1989);
- Slope Mass Rating (SMR) de Romana (1985, 1993, 1997);
- Geological Strength Index (GSI) de Hoek (1994), Hoek et al. (1998).

Nas distintas classificações geomecânicas, as características dos maciços rochosos a ter em conta são as seguintes:

- Resistência do material rochoso;
- Índice RQD;
- Espaçamento das descontinuidades;
- Orientação das descontinuidades;
- Condições das descontinuidades;
- Estrutura geológica e falhas;
- Infiltrações e presença de água;
- Estado de tensão.

A lista dos principais índices e classificações geomecânicas é extensa, pelo que apenas serão estudadas as classificações Rock Mass Rating (RMR), a Slope Mass Rating (SMR) e o índice Geological Strength Index (GSI), uma vez que se relacionam diretamente com o problema em estudo – Taludes Rochosos.

2.4.2.1 A classificação Rock Mass Rating (RMR)

Desenvolvida por Bieniawski em 1973, com atualizações entre 1979 e 1989, constitui um sistema de classificação de maciços rochosos que permite relacionar índices de qualidade com parâmetros geotécnicos de maciços rochosos.

O objetivo principal desta classificação prendia-se na determinação da relação entre o vão livre de um túnel e o tempo de sustentação sem suporte, bem como estimar a coesão e o ângulo de atrito para cada classe de maciço.

Este sistema de classificação foi desenvolvido inicialmente para aplicação em obras subterrâneas, onde chegou a ser bastante utilizado em túneis e obras semelhantes. Recentemente, aplica-se a estudos preliminares de taludes e de fundações e, ainda, para estimar o módulo de elasticidade e de deformabilidade dos maciços rochosos “*in situ*”.

Esta classificação tem em conta os seguintes parâmetros geomecânicos:

- 1 - resistência do material rochoso à compressão uniaxial;
- 2 - grau de fraturação em termos de RQD (Rock Quality Designation);
- 3 - espaçamento das descontinuidades;
- 4 - condições das descontinuidades;
- 5 - condições hidrogeológicas;
- 6 - orientação das descontinuidades em relação à orientação.

O valor do índice de qualidade RMR, que varia entre 0 e 100, resulta do somatório de todos os parâmetros apresentados anteriormente.

Para aplicar a classificação RMR divide-se o maciço rochoso em zonas ou tramos que apresentem características geológicas mais ou menos uniformes, de acordo com as observações efetuadas em campo (González de Vallejo et al., 2002).

A cada parâmetro deve ser atribuído um peso, que pode variar de obra para obra. É exemplo desta situação, o estudo da estabilidade de um talude rochoso, onde se deverá dar maior importância ao parâmetro relativo à percolação de água comparativamente à resistência da rocha intacta.

Com o desenvolvimento desta classificação geomecânica, Bieniawski pretendia ainda:

1. Caracterizar parâmetros condicionantes do comportamento dos maciços rochosos;
2. Compartimentar uma formação rochosa em classes de maciço com qualidades distintas;
3. Fornecer parâmetros para a compreensão das características de cada classe de maciço;
4. Fornecer dados quantitativos para o projeto geomecânico;
5. Servir de referência à comunicação de dados na própria obra e entre obras distintas.

Bieniawski (1989) elaborou um quadro-síntese (Quadro 2.7) onde através dos parâmetros já referidos, atribui uma classificação e qualificação ao maciço rochoso.

Quadro 2.7 - Classificação geomecânica RMR (adaptado de Bieniawski, 1989).

Parâmetros de classificação e seus pesos									
Parâmetro									
1	Resistência do material rochoso intacto	Ensaio de carga pontual (MPa)	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2-4 MPa	1 - 2 MPa	Compressão simples (MPa)		
		Resistência à compressão uniaxial (MPa)	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 -100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	> 1 MPa
	Peso		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90 - 100 %		75 - 90 %	50 - 75 %	25 - 50 %	< 25 %	
	Peso		20		17	13	6	3	
3	Espaçamento das descontinuidades		> 2 m		0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m	
	Peso		20		15	10	8	5	
4	Estado das descontinuidades	Comprimento	< 1 m		1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	
		Peso	6		4	2	1	0	
		Abertura	Nada		< 0.1 mm	0-1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm	
		Peso	6		5	3	1	0	
		Rugosidade	Muito rugosa		Rugosa	Ligeiramente Rugosa	Ondulada	Suave	
		Peso	6		5	3	1	0	
		Enchimento	Nenhum		Enchimento duro < 5 mm	Enchimento duro > 5 mm	Enchimento mole < 5 mm	Enchimento mole > 5 mm	
		Peso	6		4	2	2	0	
		Grau de alteração	Inalterado		Ligeiramente alterado	Moderadamente alterado	Muito alterado	Decomposto	
Peso		6		5	3	1	0		
5	Água subterrânea	Caudal por 10 m de túnel (l/m)	Nenhum		< 10	10 - 25	25 - 125	> 125	
		Relação: Pressão da água nas diaclases/ tensão principal máxima	0		< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5	
		Estado geral	Completamente seco		Ligeiramente húmido	Húmido	Gotejante	Fluente	
	Peso		15		10	7	4	0	
Correção dos pesos devido à orientação das descontinuidades									
			Muito favorável		Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito desfavorável	
6	Túneis e minas		0		-2	-5	-10	-12	
	Fundações		0		-2	-7	-15	-25	
	Taludes		0		-6	-25	-50	-60	
Classificação									
Classe			I		II	III	IV	V	
Qualidade			Muito boa		Boa	Média	Má	Muito má	
Peso			100 - 81		80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20	
Significado da classe das rochas									
Classe			I		II	III	IV	V	
Tempo médio de auto-sustentamento			10 anos para um vão de 15 m		6 meses para um vão de 8 m	1 semana para um vão de 5 m	10 horas para um vão de 2,5 m	30 minuto para um vão de 1 m	
Coesão do maciço rochoso (KPa)			> 400		300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100	
Ângulo de atrito do maciço rochoso (º)			> 45		35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15	
Efeito da orientação da direção e da inclinação das descontinuidades									
Direção perpendicular ao eixo do túnel					Direção paralela ao eixo do túnel		Inclinação 0º - 20º independente da direção		
Escavação a favor da inclinação		Escavação contra a inclinação							
45º - 90º	20º - 45º	45º - 90º	20º - 45º		45º - 90º	20 - 45º			
Muito favorável	Favorável	Média	Desfavorável		Muito desfavorável	Média	Desfavorável		

2.4.2.2 A classificação Slope Mass Rating (SMR)

Romana (1997) deu um impulso à classificação desenvolvida por Bieniawski (1989), tendo proposto a classificação SMR aplicada a taludes rochosos.

A classificação geomecânica Slope Mass Rating (SMR), para taludes rochosos, obtém-se pela adição à classificação RMR básica, de uma série de fatores de ajuste, dependentes da relação geométrica existente entre as descontinuidades e o talude, e da soma de um fator dado pelo método de escavação, conforme (2.1). (Tomás et al., 2006)

$$SMR = RMR_{\text{básico}} + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 \quad (2.1)$$

Onde:

- RMR básico calcula-se através da classificação de Bieniawski (1989);
- F_1 depende do paralelismo entre a direção das descontinuidades e da face do talude. Varia entre 1,00 (quando ambas as direções são paralelas) e 0,15 (quando o ângulo entre ambas as direções é maior que 30° e a probabilidade de rotura é muito baixa). Estes valores ajustam-se aproximadamente à expressão (2.2):

$$F_1 = [1 - (\text{sen } aj - as)]^2 \quad (2.2)$$

sendo aj e as os valores da direção da descontinuidade e do talude, respetivamente.

- F_2 depende da inclinação das descontinuidades. No caso de rotura planar varia entre 1,0 (para descontinuidades com inclinação superior a 45°) e 0,15 (para descontinuidades com inclinação inferior a 20°). No caso de rotura por tombamento F_2 assume sempre valor unitário. F_2 pode ser obtido através da expressão (2.3):

$$F_2 = \text{tg}^2 bj \quad (2.3)$$

sendo bj a inclinação da descontinuidade.

- F_3 refere-se à relação entre as inclinações da descontinuidade e do talude. Foram adotados os valores que Bieniawski (1989) propôs no parâmetro “orientação das descontinuidades em relação à orientação” relativo a taludes, variando entre -60 e 0.

- F_4 é o fator de ajuste relativo ao método de escavação utilizado, podendo assumir os seguintes valores:
 - Talude natural ou vertentes – 15;
 - Desmorte de Pré-corte: 10;
 - Desmorte com explosivos do tipo “*smooth blasting*”: 8;
 - Desmorte com explosivos ou escavação mecânica: 0;
 - Desmorte com explosivo deficiente: -8;

O passo seguinte consiste em obter o índice SMR para cada família de descontinuidades e adotar o menor dos valores verificado. Em rochas meteorizadas a classificação deve ser aplicada 2 vezes, uma para a situação inicial, considerando a rocha “sã” e outra para a situação de rocha meteorizada (González de Vallejo et al., 2002).

Apresentam-se, no Quadro 2.8, as classes de estabilidade segundo o SMR (Romana, 1997).

Quadro 2.8 - Classificação geomecânica SMR (adaptado de González de Vallejo et al., 2002)

Classe	I	II	III	IV	V
Coesão (MPa)	0.4	0.3 - 0.4	0.2 - 0.3	0.1 - 0.2	< 0.1
Ângulo de atrito (°)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	15
SMR	81 - 100	61 - 80	41 - 60	21 - 40	0 - 20
Descrição	Muito boa	Boa	Normal	Má	Muito Má
Estabilidade	Completamente estável	Estável	Parcialmente instável	Instável	Completamente instável
Roturas	Nenhuma	Alguns blocos	Algumas roturas planares ou bastantes roturas por cunha	Roturas planares ou roturas por cunhas de grandes dimensões	Roturas de grandes dimensões por planos contínuos
Tratamento	Nenhum	Ocasional	Sistemático	Correção	Re-escavação

De acordo com os valores de SMR, Romana (1997) sugere alguns métodos de suporte, apresentados na Figura 2.4.

ROTURAS PROVÁVEIS DE ACORDO COM OS VALORES DE SMR																		
Rotura Plana	Muito Importante					Importante					Nenhuma							
Rotura em Cunha						Muitas					Algumas			Muito Poucas			Nenhuma	
Tombamento (toppling)						Importante					Pouco importante			Nenhuma				
Rotura em Massa	Possível					Nenhuma												
SMR →	0	10	15	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80	90	100		
RE-ESCAVAÇÃO	<div><div>Muro de gravidade ancorado Re-escavação</div><div>Drenagem superficial Drenagem profunda</div><div>Betão projectado Betão de reforço Arcos e/ou Vigas Muro de pé de talude</div><div>Pregagens Ancoragens</div><div>Valetas Rede metálica</div><div>Saneamento Nenhum</div></div>																	
DRENAGEM																		
BETÃO																		
REFORÇO																		
PROTECÇÃO																		
SEM SUPORTE																		
MÉTODOS DE SUPORTE SUGERIDOS																		

Figura 2.4 - Métodos de suporte sugeridos de acordo com o SMR (Romana, 1997).

2.4.2.3 O Índice Geological Strength Index (GSI)

Hoek & Brown (1980) desenvolveram, com base em dados experimentais, através dos princípios de mecânica das rochas o *Critério de rotura de Hoek & Brown*. O critério foi inicialmente idealizado para aplicar a maciços rochosos fraturados sem alteração na sua rocha matriz resistente, tendo em consideração que os blocos de rocha estão em contacto uns com os outros e que a resistência do maciço está definida pela resistência das descontinuidades. A resistência do maciço é calculada através da expressão (2.4):

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c \cdot \left(m_i \cdot \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + 1 \right)^{1/2} \quad (2.4)$$

Em que:

- σ'_1 é a tensão principal efetiva máxima na rotura;
- σ'_3 é a tensão efetiva principal mínima na rotura;
- σ_c é a resistência à compressão simples, obtida através de ensaios realizados em laboratório;
- m_i é uma constante adimensional que depende das propriedades do maciço rochoso, do tipo de rocha e da frequência e características das descontinuidades.

Os autores desenvolveram, ainda, uma expressão (*critério generalizado*) válida para maciços rochosos fraturados e de má qualidade, com materiais alterados, conforme (2.5).

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c \cdot \left(m_b \cdot \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^a \quad (2.5)$$

em que:

- m_b é o valor reduzido do parâmetro m_i ;
- s e a dependem das propriedades e características do maciço rochoso.

Com o objetivo de ampliar a aplicação do critério generalizado, principalmente a maciços rochosos de fraca qualidade, Hoek (1994) propôs um índice geológico de referência, GSI (geological strength index), que avalia a qualidade do maciço rochoso em função do grau de fraturação, estrutura geológica, tamanho dos blocos e alteração das discontinuidades. Este índice fornece um parâmetro geotécnico que varia entre 0 e 100.

À exceção de maciços rochosos de muito má qualidade, o valor do GSI de um maciço rochoso pode ser estimado através do valor de RMR (Bieniawski, 1989), assumindo um valor de 15 para a condição de presença de água e um valor de 0 para a orientação das discontinuidades.

Para maciços com **RMR** \geq **23** utiliza-se a equação (2.6):

$$GSI = RMR - 5 \quad (2.6)$$

Para maciços com **RMR** $<$ **23** aplica-se a expressão (2.7):

$$GSI = \ln Q' + 44 \quad (2.7)$$

em que, conforme (2.8):

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \quad (2.8)$$

sendo:

- **RQD** – “Rock Quality Designation”;
- **Jr** – Índice de rugosidade;

- **Jn** – n.º de famílias de diáclases;
- **Ja** – Índice de alteração de diáclases

Hoek et al. (1998) desenvolveu um ábaco (Figura 2.5) em função da litologia, da estrutura do maciço e das características das superfícies das discontinuidades com o intuito de determinar o valor do GSI, não devendo ser considerado um único valor, mas sim um intervalo, uma vez que se revela mais realista.

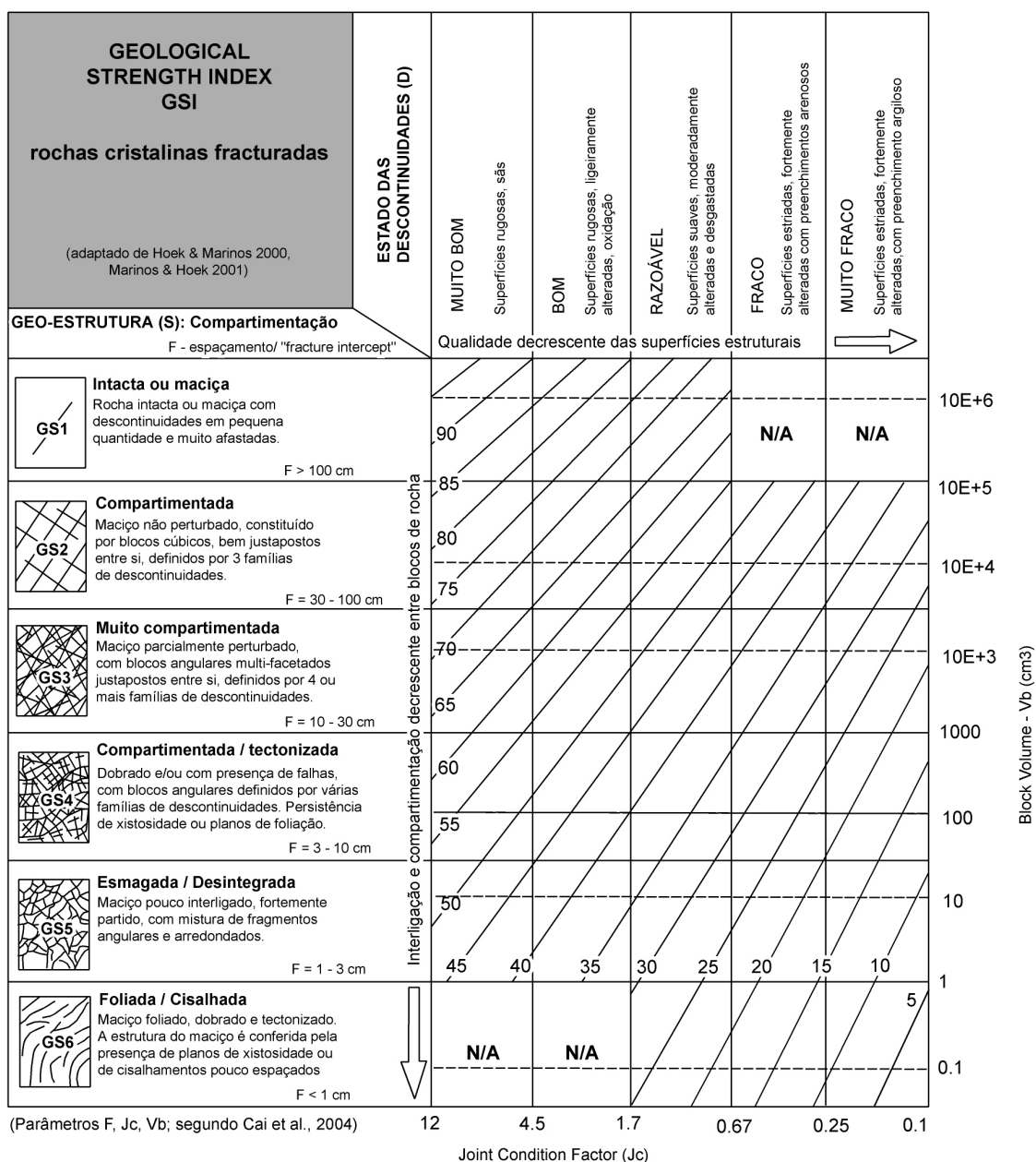


Figura 2.5 - Determinação do valor do GSI (adaptado de Hoek et al. 1998).

No Quadro 2.9 apresentam-se as classes do maciço rochoso de acordo com o valor do GSI obtido.

Quadro 2.9 - Classes do maciço rochoso de acordo com o valor do GSI obtido.

GSI	76 - 95	56 - 75	36 - 55	21 - 35	< 20
Qualidade do maciço rochoso	Muito bom	Bom	Razoável	Mau	Muito mau

2.5 TIPOS DE ROTURA

A instabilidade de taludes em maciços rochosos pode assumir diferentes tipologias.

Neste capítulo serão abordados os seguintes modos de rotura (pormenores em González de Vallejo et al., 2002; Wyllie & Mah, 2004; Chaminé et al., 2010):

- Deslizamentos
 - Rotura Planar;
 - Rotura em Cunha;
 - Rotura em Curva;
- Tombamento;
- Desprendimentos.

2.5.1 Deslizamentos

Deslizamentos são movimentos de massas de solo ou de rocha que se movem relativamente ao substrato (González de Vallejo et al., 2002).

Verifica-se a ocorrência deste tipo de fenómenos quando a força de corte instalada na superfície de deslizamento ultrapassa a respetiva resistência.

2.5.1.1 Rotura planar

De entre as formas de rotura que se podem apresentar num talude, a rotura planar é relativamente pouco frequente. São escassas as ocasiões em que num talude ocorrem as características necessárias para que se produza este tipo de movimento (Instituto Tecnológico e Geominero de Espanã, 1987).

Este tipo de rotura ocorre ao longo de uma superfície pré-existente, uma descontinuidade, formada por diáclase, estratificação ou falha, entre outros tipos de fenómenos geotécnicos similares. A condição básica é a presença de descontinuidades com inclinação a favor do talude e com a mesma direção, cumprindo-se a condição de que a inclinação da descontinuidade (α) deverá ser menor que a do talude (ψ) e superior ao seu ângulo de atrito interno (ϕ) (Wyllie & Mah, 2004).

Os diferentes tipos de rotura plana dependem da distribuição e das características das descontinuidades no talude. As mais frequentes são:

- Rotura por um plano que aflora na cara ou no pé do talude, com ou sem fissura de tração;
- Rotura por um plano paralelo à cara do talude, por erosão ou por perda de resistência no pé do talude (González de Vallejo et al., 2002).

Na Figura 2.6 apresentam-se as condições necessárias para que ocorra rotura planar.

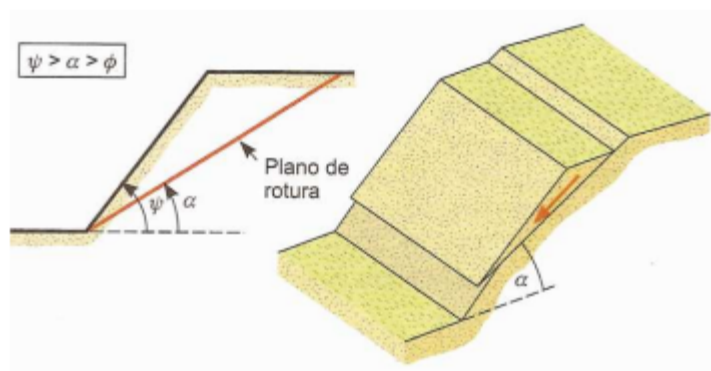


Figura 2.6 - Rotura planar (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

2.5.1.2 Rotura em cunha

Corresponde ao deslizamento de um bloco em forma de cunha, formado por dois planos de descontinuidade, a favor da sua linha de interseção. Para que aconteça este tipo de rotura, os dois planos devem aflorar na superfície do talude, cumprindo-se igualmente as condições referidas para a rotura planar $\psi > \alpha > \phi$ ($\psi > \alpha > \phi$), sendo neste caso (α) a inclinação da linha de interseção. Este tipo de rotura só acontece em maciços com várias famílias de descontinuidades, cujas orientações, espaçamentos e continuidades determinam a forma e o volume da cunha (González de Vallejo et al., 2002).

Na Figura 2.7 apresentam-se as condições necessárias para que ocorra rotura em cunha.

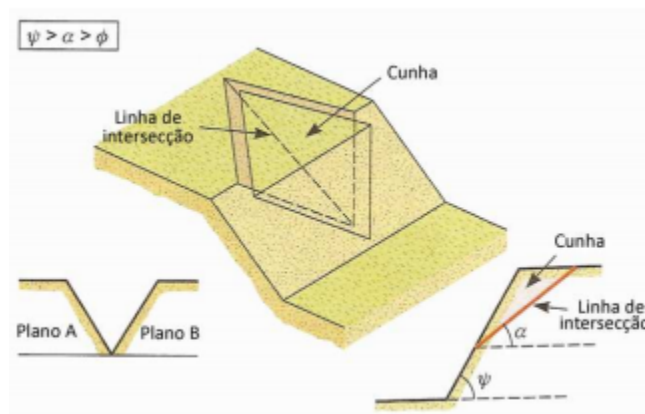


Figura 2.7 - Rotura em cunha (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

2.5.1.3 Rotura em curva

A rotura em curva pode ocorrer em maciços rochosos muito alterados ou intensamente fraturados, que apresentam um comportamento isotrópico e onde os planos de descontinuidade não controlam o comportamento mecânico. Neste caso, o maciço comporta-se como um solo (González de Vallejo et al., 2002).

A Figura 2.8 ilustra uma rotura em curva típica.



Figura 2.8 - Rotura em curva (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

2.5.1.4 Tombamento

Este tipo de rotura ocorre em taludes onde os estratos apresentam inclinação contrária à inclinação do talude e direção paralela ao mesmo. Em geral, os estratos aparecem fraturados em blocos a favor de sistemas de descontinuidades ortogonais entre si (González de Vallejo et al., 2002).

Este tipo de movimento ocorre, na generalidade, devido a forças exercidas por unidades adjacentes ou pela entrada de água em descontinuidades, introduzindo pressões elevadas, que pode levar à queda de um fragmento rochoso (bloco) de grandes dimensões. Normalmente, associado a este fenómeno estão implícitas rotações, devido aos fatores anteriormente referidos (Instituto Tecnológico e Geominero de Espanã, 1987).

A Figura 2.9 ilustra a possível queda por tombamento de blocos rochosos instáveis.

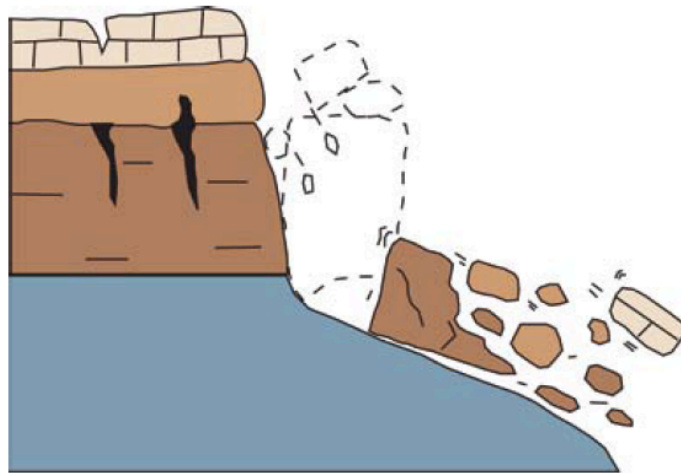


Figura 2.9 - Tombamento (Highland & Bobrowsky, 2008).

2.5.1.5 Desprendimentos

Em taludes muito íngremes, blocos de rocha podem cair por ação da gravidade. Este fenómeno ocorre quando uma massa de rocha se desagrega de um talude. A superfície de corte normalmente é pequena e o trajeto desta massa é realizado pelo ar.

Desprendimentos são quedas livres, muito rápidas, de blocos ou massas rochosas independentes por planos de descontinuidade pré-existent (Figura 2.10) (González de Vallejo et al., 2002).

As quedas de blocos ocorrem pela ação alternada de congelamento e descongelamento ao longo de fraturas e juntas, por perda de desconfinamento lateral de maciços rochosos, por alívio de tensões de origem tectónica, por processos erosivos, por vibrações, etc. (Guidicini & Nieble, 2003).

Esta instabilidade é mais frequente em blocos isolados; no entanto, também podem ocorrer em grandes massas rochosas, originando, neste caso, resultados catastróficos (Instituto Tecnológico e Geominero de Espanã, 1987).

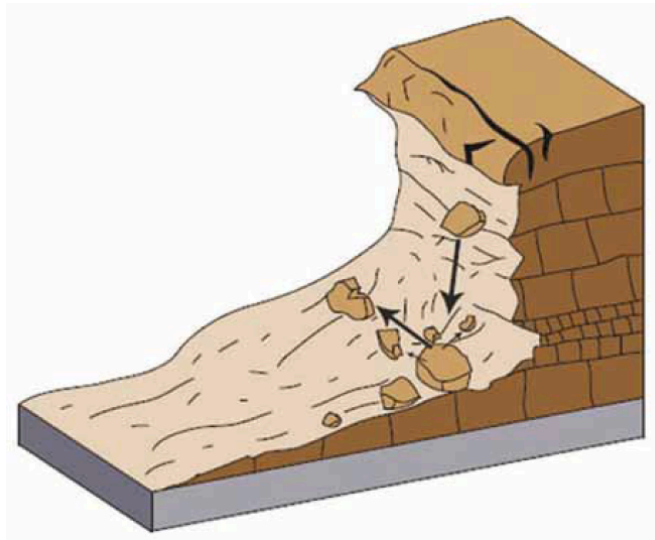


Figura 2.10 - Desprendimientos (Highland & Bobrowsky, 2008).

2.6 FATORES QUE CONDICIONAM A ESTABILIDADE

Os fatores que controlam os deslocamentos dos taludes são capazes de modificar as forças internas e externas que atuam sobre o terreno. É necessário proceder à identificação e ao estudo destes fatores, dividindo-os em fatores naturais e em fatores devidos à atividade humana, de modo a compreender o comportamento dos taludes e os respectivos deslocamentos, com a finalidade de intervir atempadamente e com uma solução que se adeque ao problema, antes que produzam qualquer perigo para as pessoas e bens.

2.6.1 Fatores naturais

É possível dividir os diferentes tipos de fatores naturais, nomeadamente em fatores que integram a meteorização e em fatores de natureza tectónica. Os agentes erosivos são os que mais frequentemente se evidenciam no processo que conduz à instabilidade de maciços rochosos.

2.6.1.1 Água

Trata-se do agente natural com maior incidência no aparecimento de instabilidade. Este agente apresenta-se em rios, águas subterrâneas, chuva, gelo e neve.

Os movimentos ocorridos em taludes rochosos estão, geralmente, relacionados com o volume, intensidade e distribuição das precipitações.

A água, quando penetra nas discontinuidades, dá lugar à introdução de pressões intersticiais e, consequentemente, ao aumento de peso nos blocos. Neste caso, a água aumenta os esforços de corte pela introdução de forças nas discontinuidades. Este fenómeno pode levar à ocorrência de, por exemplo, desprendimentos de rochas.

No caso de erosão fluvial, no pé do talude, a água pode provocar a perda de resistência nesta zona, a modificação do estado tensional e a sua descalcificação, que posteriormente origina um processo de instabilidade.

2.6.1.2 Efeitos das vibrações e vulcanismo

Agentes como terremotos, o bater das ondas, explosões, tráfego pesado, cravação de estacas e operação de máquinas pesadas transmitem invariavelmente vibrações ao substrato (Guidicini & Nieble, 2003).

Os Sismos podem provocar movimentos de todos os tipos em taludes, dependendo das características dos materiais, da sua magnitude e da distância ao epicentro. Este fenómeno provoca vibrações elevadas nos terrenos, que se propagam em ondas com diferentes frequências, originando uma alteração nos esforços interiores, o que afeta o equilíbrio dos taludes.

As erupções vulcânicas podem provocar grandes deslizamentos, avalanches rochosas ou derrubamentos de grande magnitude e velocidade em taludes.

Estas ações podem provocar danos irreversíveis.

2.6.1.3 Atividade biológica

A presença de atividade biológica indesejável pode provocar a desagregação de maciços rochosos com dimensões significativas. Esta desagregação resulta da força exercida pelas raízes das plantas sobre os maciços rochosos.

A atividade biológica deve ser sempre abordada com algum cuidado, uma vez que esta apresenta vantagens e desvantagens (já aqui referidas).

A presença de vegetação pode ter efeitos benéficos no que se refere, por exemplo, à proteção do talude contra agentes erosivos ou ainda na drenagem, uma vez que as raízes das árvores têm um grande poder de absorção.

2.6.1.4 Geologia

A estrutura geológica e a litologia determinam a potencialidade da ocorrência de movimentos nos diferentes tipos de materiais rochosos e a existência de planos de descontinuidade que podem atuar como superfícies de rotura. Aspetos como a composição, resistência, deformabilidade, fracturação, porosidade e permeabilidade determinam a possibilidade de o terreno sofrer roturas e deslocamentos.

2.6.1.5 Comportamento mecânico

As propriedades geomecânicas controlam a resistência dos terrenos. Os solos, pelo seu carácter homogéneo, apresentam menor complexidade na sua caracterização, comparativamente aos maciços rochosos que podem ter um grau de fracturação muito diferente. São as propriedades das descontinuidades e do conjunto maciço rochoso que determinam a sua resistência e o seu comportamento.

2.6.2 Atividade humana

A atividade humana, normalmente relacionada com o desenvolvimento dos países, é atualmente uma das causas com maior incidência no movimento de taludes, uma vez que modificam as condições e forças que atuam sobre os terrenos.

2.6.2.1 Escavações

As escavações superficiais para vias de comunicação alteram o equilíbrio dos taludes. Dependendo também de outros fatores condicionantes, como a estrutura geológica, a resistência e a quantidade de água presente no talude, estas escavações podem originar movimentos

As escavações mais desfavoráveis são as realizadas no pé do talude (zona que suporta as maiores tensões), sendo uma situação frequente na construção de infraestruturas rodoviárias em vales. Neste tipo de escavação ocorrem descalçamentos.

As escavações influenciam, igualmente, a alteração do sistema de drenagem superficial e a modificação do comportamento hidrogeológico do talude, ao variarem os níveis freáticos e a acumulação de água em determinadas zonas.

2.6.2.2 Sobrecargas

Entende-se como um acréscimo de peso devido a causas naturais (chuva) ou a atividade humana (construções).

O efeito produzido é, geralmente, um incremento no esforço de corte do terreno e, quando se trata de solos com alto teor de argila, um aumento da pressão intersticial. Desta forma, modificam-se as condições de equilíbrio existentes no talude, podendo ocorrer diferentes tipos de movimentos.

3 A INSTABILIDADE DE TALUDES

3.1 INTRODUÇÃO

Durante milénios a atividade construtiva baseava-se essencialmente na experiência acumulada nas estruturas anteriormente desenvolvidas. Deste modo, as soluções estruturais eram muito semelhantes, quando os terrenos tinham características idênticas.

Com o desenvolvimento de novos materiais estruturais, especialmente o aço e o betão, tornou-se possível idealizar soluções estruturais mais complexas, sendo necessário realizar dimensionamentos mais cuidados e racionais.

Em taludes existentes, a análise de estabilidade é efetuada, normalmente, quando os taludes apresentam sinais de instabilidade. Deve definir-se um coeficiente de segurança apropriado, dependendo da finalidade do talude e do seu carácter temporário ou definitivo.

Para os taludes de carácter definitivo o coeficiente de segurança global a adotar é, geralmente, da ordem de 1.5, dependendo, no entanto, da confiança nos dados geotécnicos que intervêm nos cálculos, do tipo de obra a realizar e do risco associado.

Para análises em que intervém a ação sísmica, os valores do coeficiente de segurança global poderão assumir valores inferiores.

A propósito, merece referência o estabelecido pela NBR 11682 (2009) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), reproduzido no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Fatores de segurança mínimos recomendados pela NBR 11682 (ABNT, 2009).

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Nível de segurança contra danos a vidas humanas		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

De acordo com essa norma, estando em causa a perda de vidas humanas, os níveis de segurança podem ser definidos como (ABNT, 2009):

Alto – Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas (edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas); ferrovias e rodovias de tráfego intenso;

Médio – Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas; ferrovias e rodovias de tráfego moderado;

Baixo – Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas; ferrovias e rodovias de tráfego reduzido.

Considerando os danos materiais e ambientais, a norma estabelece os seguintes níveis de segurança:

Alto – Danos materiais: locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais. Danos ambientais: locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos;

Médio – Danos materiais: locais próximos a propriedades de valor moderado. Danos ambientais: locais sujeitos a acidentes ambientais moderados;

Baixo – Danos materiais: locais próximos a propriedades de valor reduzido. Danos ambientais: locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos.

De acordo com a Fundação Instituto de Geotécnica (Geo-Rio), órgão da Secretaria Municipal de Obras da Prefeitura do Município do Rio de Janeiro, responsável pela estabilidade das encostas, os

valores dos factores de segurança globais a considerar são mais baixos, conforme se apresenta no Quadro 3.2:

Quadro 3.2 – Fatores de segurança mínimos recomendados pela GeoRio (GeoRio, 2000).

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Nível de segurança contra danos a vidas humanas		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,4	1,4
Médio	1,4	1,3	1,2
Baixo	1,4	1,2	1,1

De acordo com Eletrobras - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (2003), os factores globais de segurança a adoptar no dimensionamento de barragens são os indicados no Quadro 3.3, destacando-se o valor unitário a considerar na análise sísmica.

Quadro 3.3 – Fatores de segurança mínimos recomendados pela Eletrobrás (Eletrobrás, 2003).

Caso	FS	Resistência ao Cisalhamento
Final de Construção	1,3	Ensaio UU ou CD
Rebaixamento Rápido	1,1 a 1,3	Ensaio CU ou CD
Percolação - estável	1,5	Ensaio CU ou CD
Análise Sísmica	1	Ensaio CU ou CD

Na análise da estabilidade de taludes de acordo com as normas NP EN 1997-1: 2010 e NP EN 1998-5: 2010, deverá ser adoptada a metodologia baseada em coeficientes parciais de segurança. No caso de um talude de solo puramente friccional, considerando a análise sísmica, o coeficiente parcial de segurança relativo aos parâmetros do terreno, nomeadamente o correspondente à tangente do ângulo de atrito, em termos de tensões efetivas, é igual a 1,1. Neste caso, e se apenas se envolver como ação o peso próprio do terreno, este valor poderá ser interpretado como um coeficiente de segurança global.

No que se refere a taludes de carácter temporário, o coeficiente de segurança global a adoptar tomará valores inferiores aos considerados em taludes de carácter definitivo e deverá ser estabelecido de acordo com as condições específicas do cenário em causa.

As análises de estabilidade permitem definir a geometria da escavação para a execução do talude, ou as forças externas que deverão ser aplicadas, de modo a que o coeficiente de segurança exigido seja verificado. No caso de taludes existentes instáveis, as análises de estabilidade permitem projetar medidas de correção ou de estabilização que melhor se adequem aos problemas observados, de modo a evitar que novos movimentos ocorram.

Após a ocorrência de uma rotura, podem ser realizadas “*análisis a posteriori*”, onde já são conhecidos os mecanismos, modelo e geometria da instabilidade. Trata-se de uma análise com elevada utilidade para a caracterização geomecânica dos materiais envolvidos, para o estudo dos fatores influentes na rotura e para conhecer o comportamento mecânico dos materiais do talude. Os resultados obtidos através desta “*análisis a posteriori*” podem ser extrapolados a outros taludes com características similares.

Os parâmetros geralmente calculados são a coesão e o ângulo de atrito, ao longo da superfície de rotura para as condições reais em que esta teve lugar.

Os métodos de análise de estabilidade baseiam-se num planeamento físico-matemático em que intervêm forças estabilizadoras e desestabilizadoras que atuam no talude e que determinam o seu comportamento e condições de estabilidade.

Podem ser definidos dois tipos de métodos, determinísticos e probabilísticos. O método determinístico é aplicado quando são conhecidas as condições em que se encontra o talude. Este tipo de análise indica se o talude é ou não estável. São selecionados os valores adequados dos parâmetros físicos e resistentes que controlam o comportamento do material, para a partir deles definir o estado de estabilidade ou o fator de segurança do talude.

Por outro lado, o método probabilístico considera a probabilidade de rotura de um talude sob determinadas condições. É necessário conhecer as funções de distribuição dos diferentes valores considerados como variáveis aleatórias nas análises (sendo uma dificuldade devido à grande quantidade de dados necessários, face às incertezas das propriedades dos materiais), realizando-se, a partir daí, os cálculos do fator de segurança mediante processos iterativos.

Devido à complexidade de aplicação do método probabilístico, a sua utilização é reduzida.

Os métodos de equilíbrio limite são os mais utilizados para a análise da estabilidade. Estes métodos consistem em comparar forças resistentes com as forças que tentam provocar o movimento, ao longo de uma determinada superfície de rotura. Estas análises baseiam-se:

- na seleção de uma superfície teórica de rotura no talude;
- no critério de rotura de Mohr-Coulomb;
- na definição do “coeficiente de segurança”.

Os problemas de estabilidade são estaticamente indeterminados, e para a sua resolução é preciso considerar uma série de hipóteses de partida diferentes, segundo os métodos. Deste modo, assumem-se as seguintes condições:

- a superfície de rotura deve ser postulada com uma geometria que permita que ocorra o deslizamento;
- a distribuição das forças que atuam na superfície de rotura poderão ser calculadas, utilizando dados conhecidos, como o peso específico do material, pressão de água, etc.;
- a resistência mobiliza-se ao longo de todo o plano de rotura.

O valor do coeficiente de segurança (F) é obtido através do quociente entre as forças estabilizadoras e as forças desestabilizadoras, ou ainda através do quociente entre as tensões tangenciais resistentes e as tensões tangenciais deslizantes, de acordo com (3.1).

$$F = \frac{\text{tensões tangenciais resistentes}}{\text{tensões tangenciais deslizantes}} \quad (3.1)$$

Uma vez avaliado o coeficiente de segurança da suposta superfície, é necessário analisar outras superfícies de rotura, até encontrar aquela a que se associa o menor coeficiente de segurança, F_{\min} , a qual se admite como potencial superfície de rotura do talude.

As forças que atuam sobre um plano de rotura ou de deslizamento potencial, supondo que não existem forças externas sobre o talude são devidas ao peso próprio, W , à coesão, c , e ao atrito, ϕ , do plano (Figura 3.1).

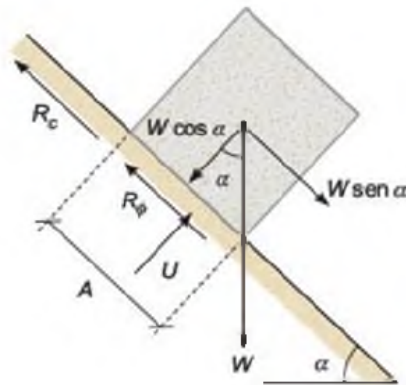


Figura 3.1 - Forças atuantes numa superfície de rotura de um talude (adaptado de González de Vallejo et al., 2002)

Deste modo, o coeficiente de segurança é obtido através da expressão (3.2):

$$F = \frac{R_c + R_\phi}{S} \quad (3.2)$$

em que,

- R_c – Forças resistentes coesivas = $c \times A$;
- R_ϕ – Forças resistentes de atrito = $W \times \cos \alpha \times \operatorname{tg} \phi$;
- S - Forças que favorecem o deslizamento = $W \times \sin \alpha$;
- A - área do plano de rotura;

No caso de existir pressão de água sobre a superfície de rotura, sendo U a força total devida à água sobre a superfície A , R_ϕ pode ser calculado através da equação (3.3):

$$R_\phi = (W \times \cos \alpha - U) \times \operatorname{tg} \phi \quad (3.3)$$

Para taludes rochosos, a análise deve ser efetuada de acordo com o tipo de rotura identificado.

3.2 ROTURA PLANAR

De acordo com o método de cálculo abordado anteriormente, em que o coeficiente de segurança se obtém através do quociente entre as forças estabilizadoras e as forças desestabilizadoras, supõe-se

que o coeficiente de segurança é constante ao longo de toda a superfície de rotura. Esta hipótese é aceite, no entanto não é estritamente correta (Instituto Tecnológico Geominero de Espanã, 1987).

A equação do coeficiente de segurança é obtida através das forças atuantes e resistentes sobre a superfície de rotura considerada, de acordo com (3.4):

$$F = \frac{cA + (W \cos \alpha - U) \operatorname{tg} \phi}{W \sin \alpha} \quad (3.4)$$

em que:

- cA – força devida à coesão no plano de deslizamento;
- $(W \cos \alpha - U) \times \operatorname{tg} \phi$ – força devida ao atrito no plano;
- $W \cos \alpha$ – componente estabilizadora do peso;
- U – força total devida à pressão da água sobre a superfície de deslizamento;
- $W \sin \alpha$ – componente desestabilizadora do peso.

A Figura 3.2 apresenta as forças atuantes numa superfície de deslizamento plana.

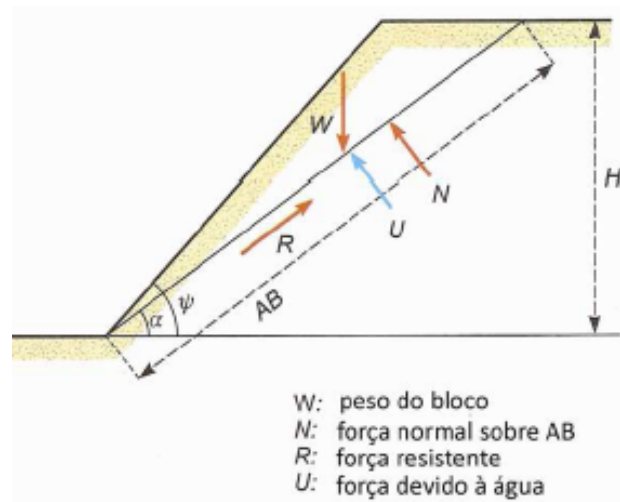


Figura 3.2 - Forças atuantes sobre uma superfície de deslizamento plana (adaptado de González de Vallejo et al., 2002)

No caso de a existência de fendas de tração, preenchidas com água, o cálculo deve ser efetuado através da expressão (3.5).

$$F = \frac{cA + (W \cos \alpha - U - V \sin \alpha) \operatorname{tg} \phi}{W \sin \alpha + V \cos \alpha} \quad (3.5)$$

em que V representa a força exercida pela água sobre a fenda de tração.

A Figura 3.3 ilustra as forças atuantes numa superfície de deslizamento plana com a presença de fendas de tração.

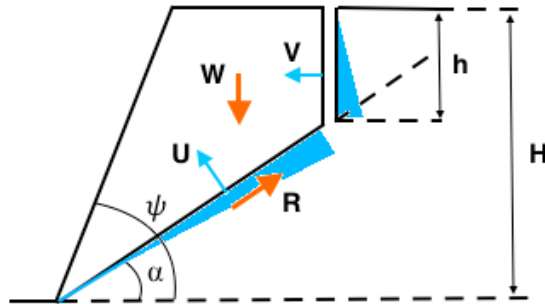


Figura 3.3 - Forças presentes numa superfície de deslizamento plana com fendas de tração (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

3.3 ROTURA EM CUNHA

O cálculo do fator de segurança associado a uma rotura em cunha é mais complexo, quando comparado com o caso da rotura planar, uma vez que entram na caracterização geométrica do problema um maior número de variáveis.

Na Figura 3.4 ilustram-se as forças atuantes nos planos que formam a cunha.

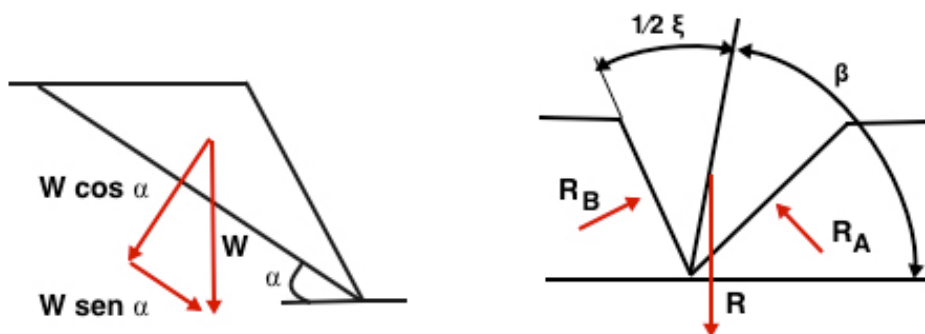


Figura 3.4 - Forças atuantes sobre os planos que formam a cunha (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Em casos mais simples, supondo que só existe atrito nos dois planos de cunha e que o ângulo de atrito é o mesmo para ambos, o coeficiente de segurança é obtido de acordo com a equação (3.6):

$$F = \frac{[(R_A + R_B) \operatorname{tg} \phi]}{W \operatorname{sen} \alpha} \quad (3.6)$$

sendo:

- α o ângulo da linha de interseção com a horizontal;

Para obter R_A e R_B devem ser calculadas as forças atuantes nas direções paralelas e perpendiculares à linha de interseção dos planos de cunha.

Ao considerar a coesão dos planos e a pressão de água sobre os mesmos, o cálculo dificulta-se (Hoek & Bray, 1981).

Existem programas de cálculo automático, utilizando análises determinísticas e probabilistas, que permitem a introdução de forças devidas à pressão de água, forças externas, forças sísmicas, etc.. Esses programas serão abordados num capítulo a seguir.

Para casos mais simples, de uma cunha formada por dois planos sem coesão e sem presença de água, os ábacos de Hoek & Bray (1981) (Figura 3.5) permitem obter o coeficiente de segurança da cunha a partir de valores de inclinação, direção e ângulos de atrito dos planos. Os ábacos adicionam dois parâmetros, A e B, que se introduzem na expressão (3.7):

$$F = A \operatorname{tg} \phi_a + B \operatorname{tg} \phi_b \quad (3.7)$$

onde ϕ_a e ϕ_b são os ângulos de atrito dos dois planos que formam a cunha, sendo o plano A o de menor inclinação. Realça-se que o coeficiente de segurança obtido através desta expressão é independente da altura do talude e da direção do plano do talude. Trata-se dum método rápido e útil para realizar estimativas da estabilidade de cunhas na fase de projetos de taludes.

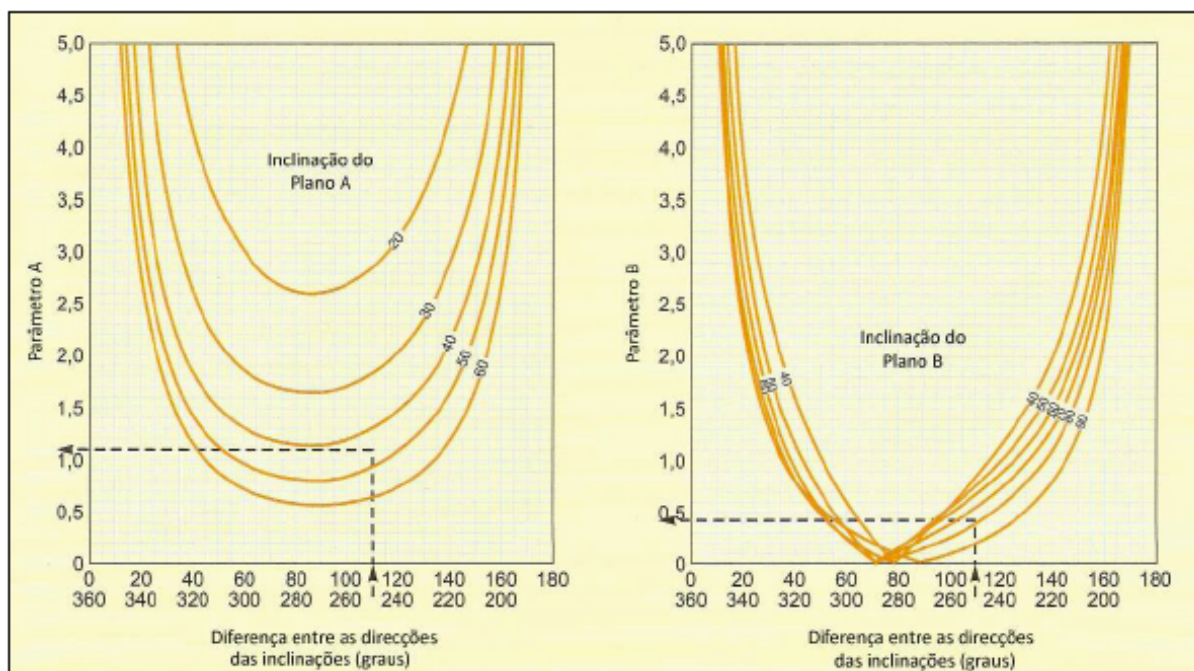


Figura 3.5 - Ábacos de Hoek & Bray (1981) para o cálculo do coeficiente de segurança de uma cunha (adaptado por Monteiro, 2008).

3.4 TOMBAMENTO

A rotura de um talude por tombamento ou rotura rotacional, supõe a rotação de colunas ou blocos de rocha.

O tombamento de blocos ocorre quando duas famílias de descontinuidades ortogonais, convenientemente orientadas, originam um sistema de blocos. O impulso sobre os elementos inferiores origina um deslocamento que permite a rotação dos blocos superiores, progredindo o fenómeno até à sua rotura definitiva.

A estabilidade do talude quantifica-se pela força estabilizadora que se deve aplicar na coluna situada no pé do talude para obter o equilíbrio.

A análise de rotura por tombamento de blocos é realizada estudando as condições de equilíbrio de cada um dos blocos que formam o talude. Para realizar os cálculos estabelecem-se relações entre todos eles, considerando as suas ações múltiplas e as relações geométricas dos blocos do talude.

Goodman & Bray (1976) e Hoek & Bray (1981) desenvolveram a análise para casos simples e taludes com blocos esquemáticos. Os casos mais complexos não podem ser representados por modelos simples e não podem ser analisados com recurso a métodos de equilíbrio limite.

Descreve-se, em seguida, o procedimento para verificar a estabilidade de roturas por tombamento, num talude com características e condições necessárias para que este fenómeno ocorra.

Devem estabelecer-se três pontos no talude, onde se verificam as dimensões da face de cada bloco (Figura 3.6):

- Blocos no coroamento do talude, conforme as equações (3.8) e (3.9):

$$M_n = Y_n - a_2 \quad (3.8)$$

$$L_n = Y_n - a_1 \quad (3.9)$$

- Blocos situados por baixo do coroamento do talude, de acordo com as expressões (3.10) e (3.11):

$$M_n = Y_n \quad (3.10)$$

$$L_n = Y_n - a_1 \quad (3.11)$$

- Blocos situado em cima do coroamento do talude, conforme as expressões (3.12) e (3.13):

$$M_n = Y_n - a_2 \quad (3.12)$$

$$L_n = Y_n \quad (3.13)$$

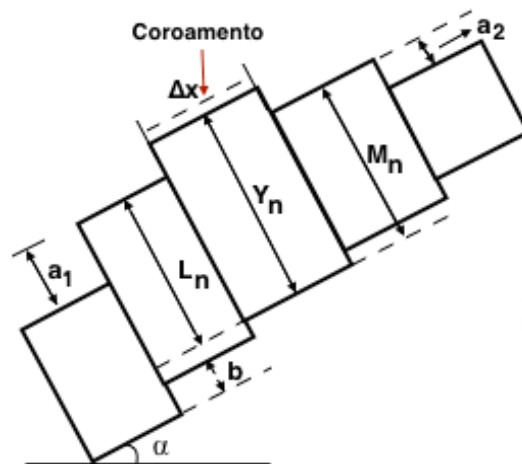


Figura 3.6 - Modelo geométrico para a análise da estabilidade por tombamento (adaptado de González de Vallejo et al., 2002)

Cada um dos blocos que formam o talude pode sofrer instabilidade por tombamento ou por deslizamento, em função das forças atuantes e das dimensões do bloco (Figura 3.7), segundo as seguintes condições:

$\phi > \alpha$ não é possível o deslizamento

$\phi < \alpha$ é possível o deslizamento

$\frac{\Delta x}{y_n} > \text{tg } \alpha$ não é possível o tombamento

$\frac{\Delta x}{y_n} < \text{tg } \alpha$ é possível o tombamento

em que:

- ϕ é o ângulo de atrito da base do bloco;
- α é o ângulo de inclinação com a horizontal.

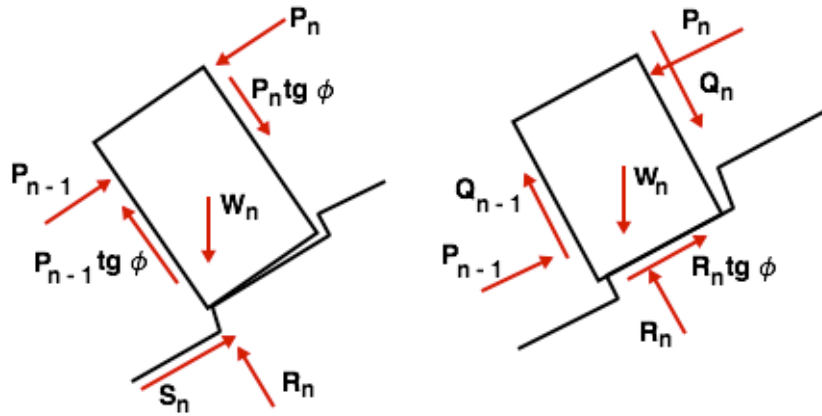


Figura 3.7 - Forças atuantes num bloco sujeito a tombamento ou deslizamento (adaptado de González de Vallejo et al., 2002)

A força P_{n-1} resulta da força transmitida pelo bloco imediatamente abaixo, contrariando o tombamento.

A equação de equilíbrio, efetuando o equilíbrio de momentos no ponto de rotação, é obtida através da expressão (3.14):

$$W_n \sin \alpha \frac{Y_n}{2} + P_n M_n = W_n \cos \alpha \frac{\Delta x}{2} + P_n \operatorname{tg} \phi \Delta x + P_{n-1} L_n \quad (3.14)$$

em que o valor de $P_{n-1,t}$ é calculado de acordo com a expressão (3.15):

$$P_{n-1,t} = \frac{\left[\frac{1}{2} W_n (\sin \alpha Y_n - (\cos \alpha \Delta x)) + P_n (M_n - (\operatorname{tg} \phi \Delta x)) \right]}{L_n} \quad (3.15)$$

De igual modo, efetuando as equações de equilíbrio, para um dado bloco, pode analisar-se a possível rotura por deslizamento, conforme (3.16):

$$W_n \sin \alpha + P_n - P_{n-1} = [W \cos \alpha + (P_n - P_{n-1}) \operatorname{tg} \phi] \operatorname{tg} \phi \quad (3.16)$$

em que, de acordo com (3.17) e (3.18):

$$Q_n = P_n \operatorname{tg} \phi \quad (3.17)$$

$$Q_{n-1} = P_{n-1} \operatorname{tg} \phi \quad (3.18)$$

e conforme (3.19):

$$P_{n-1,d} = \left[\frac{W_n(\sin \alpha - \cos \alpha \tan \phi)}{1 - \tan^2 \alpha} \right] + P_n \quad (3.19)$$

De acordo com Gonzalez de Vallejo et al. (2002), a verificação da segurança ao tombamento deve ser efetuada de acordo com os seguintes passos:

1. Após definidos os blocos a analisar, inicia-se o estudo pela parte superior com o primeiro bloco que cumpra a condição de tombamento: $\frac{\Delta x}{y_n} < \tan \alpha$. Para este bloco, n_1 , adota-se $P_n = 0$.
2. Para o bloco n_1 calculam-se os valores de $P_{n-1,t}$ e $P_{n-1,d}$ necessários para que não ocorra tombamento nem deslizamento, a partir dos dados geométricos do bloco, do seu peso, e assumindo um ângulo ϕ maior que α .
3. Adota-se o maior dos valores obtidos para aplicar ao bloco seguinte (o imediatamente inferior), valor que será correspondente à força P_n do novo bloco. Volta a calcular-se $P_{n-1,t}$ e $P_{n-1,d}$ para o novo bloco, e o maior dos valores será P_n do bloco seguinte. Se $P_{n-1,d} > P_{n-1,t}$ o bloco em estudo estará em condições de sofrer deslizamento, caso contrário poderá ocorrer tombamento.
4. Os cálculos realizam-se para todos os blocos que possam sofrer tombamento. Quando um bloco cumprir a condição $\frac{\Delta x}{y_n} > \tan \alpha$ (não é possível ocorrer tombamento), a análise realiza-se unicamente para deslizamento, continuando até ao bloco situado no pé do talude.
5. Ao analisar o bloco mais inferior do talude, para tombamento ou deslizamento ou só para tombamento, pode obter-se:
 - a) $P_{n-1} = 0$: o talude encontrar-se-á em equilíbrio limite para o valor do ângulo ϕ considerado.
 - b) $P_{n-1} < 0$: o cálculo não é válido e deve repetir-se, adotando valores de ϕ superiores ao inicial.
 - c) $P_{n-1} > 0$: o talude é instável para o valor de ϕ considerado.

Com o auxílio deste método é possível determinar a força necessária para estabilizar um talude face ao tombamento ou deslizamento.

3.5 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES DE ACORDO COM O EUROCÓDIGO 7

Segundo a NP EN 1997-1 (Eurocódigo 7) as disposições da secção relativa à Estabilidade Global devem ser aplicadas aos movimentos do terreno, tanto natural como de aterro, em redor de fundações, de estruturas de suporte, de taludes naturais, de aterros ou de escavações.

Devem ser considerados todos os estados limites pertinentes, de forma a satisfazer os requisitos fundamentais de estabilidade, de limitação de deformações, de durabilidade e de limitação de movimentos de estruturas ou de redes de serviços vizinhas.

Apresentam-se alguns dos estados limites possíveis (Quadro 3.4):

Quadro 3.4 - Estados limites.

Perda de estabilidade global do terreno e de estruturas associadas
Movimentos excessivos do terreno devidos a deformações de corte, a assentamentos, a vibrações ou a empolamento
Danos ou perda de aptidão para a utilização em estruturas vizinhas, em estradas ou em redes de serviços, em consequência de movimentos do terreno

No Quadro 3.5 apresentam-se as ações que deverão ser tidas em conta para a verificação de segurança relativamente a estes estados limites:

Quadro 3.5 - Ações a considerar na verificação da segurança relativamente aos diferentes estados limites.

• Processos construtivos
• Novos taludes ou estruturas sobre o local ou na sua vizinhança
• Movimentos anteriores ou em curso do terreno, com origens diversas
• Vibrações
• Variações climáticas, incluindo variações de temperatura (congelamento e degelo), secas e chuvas torrenciais
• Vegetação ou a sua supressão
• Atividades humanas ou animais
• Variações do teor de água ou da pressão na água dos poros

De acordo com o Eurocódigo 7, os problemas de estabilidade ou os movimentos de fluência ocorrem principalmente em taludes de solos coesivos. No entanto, também pode ocorrer instabilidade em solos sem coesão ou em rochas fissuradas em taludes com uma inclinação, que poderá ser determinada pela erosão, próxima do ângulo de atrito interno. É muitas vezes observado um aumento dos movimentos quando as pressões na água dos poros são elevadas ou junto à superfície do terreno, durante ciclos de congelamento e degelo.

Na análise da estabilidade global do terreno, de solo ou de rocha, devem ser tidos em conta todos os modos de rotura relevantes.

No Quadro 3.6 apresentam-se os aspetos a considerar na escolha do método de cálculo.

Quadro 3.6 - Aspetos a considerar na escolha do método de cálculo.

• A estratificação do solo
• A ocorrência e a inclinação das descontinuidades
• A percolação e a distribuição da pressão na água dos poros
• A estabilidade a curto e a longo prazo
• A fluência distorcional
• O tipo de rotura (superfície de rotura circular ou não circular; derrubamento; fluxo)
• A utilização de métodos numéricos

Em terrenos com superfícies de descontinuidade, incluindo rochas rijas e solos estratificados ou fissurados, a forma da superfície de rotura pode ser condicionada, parcial ou completamente, pelas descontinuidades. Neste caso deverão normalmente ser analisadas cunhas tridimensionais.

3.5.1 Taludes naturais e taludes de escavação em maciços rochosos

Segundo o Eurocódigo 7, a estabilidade de taludes naturais e de taludes de escavação em maciços rochosos deve ser verificada relativamente ao modos de rotura por translação ou por rotação, envolvendo blocos de rocha isolados ou grandes volumes do maciço rochoso, assim como relativamente à queda de blocos. Deve ser prestada especial atenção às pressões resultantes de impedimento da percolação de água em diáclases e fissuras.

As análises de estabilidade devem ser baseadas num conhecimento fiável da distribuição das descontinuidades no seio do maciço rochoso e da resistência ao corte da rocha intacta e das descontinuidades.

Deve ser tido em conta que as roturas de taludes naturais e de taludes de escavação em maciços de rochas rijas, com um sistema de descontinuidades bem definido, envolvem, normalmente:

- deslizamento de blocos ou de cunhas de rocha;
- derrubamento de blocos ou de lajes;
- uma combinação de derrubamento e de deslizamento;

dependendo da orientação da superfície do talude em relação à das descontinuidades.

De acordo com o Eurocódigo 7, o deslizamento de blocos ou de cunhas isoladas deverá, normalmente, ser evitado, diminuindo a inclinação do talude com a colocação de banquetas ou instalando ancoragens, pregagens e um sistema de drenagem interna.

Na análise da estabilidade a longo prazo de taludes naturais e de taludes de escavação deverão ser considerados os efeitos prejudiciais da vegetação e de agentes ambientais ou poluidores na resistência ao corte das descontinuidades e na resistência da rocha intacta.

O Eurocódigo 7 refere ainda que:

- em maciços rochosos intensamente fracturados com taludes muito inclinados ou susceptíveis de sofrer fenómenos de derrubamento, de esfoliação, de desagregação e de abatimento deverá sempre ser analisada a possibilidade de queda de blocos de rocha.
- nos casos em que não seja possível dispor de um sistema seguro para evitar quedas de blocos de rocha, essas quedas são admitidas mas deverá estar especificada a existência de redes, de barreiras ou de outros sistemas adequados de retenção de rocha que caírem.
- o dimensionamento dos sistemas destinados a reter blocos de rocha e detritos que entrem em movimento de queda em taludes rochosos deverá ser baseado num estudo aprofundado das várias trajetórias possíveis do material em queda.

No item 3.6.1 apresenta-se o programa de cálculo automático *“Rocfall 4.0”*, da *“Rocscience”*, vocacionado para o estudo da trajetória dos blocos em queda.

3.6 AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DE TALUDES E MODELAÇÃO DA QUEDA DE BLOCOS COM RECURSO A PROGRAMAS DE CÁLCULO AUTOMÁTICO

A avaliação da segurança de taludes e a modelação da queda de blocos é regularmente efetuada com recurso a programas de cálculo automático.

Descrever-se-á, em seguida, o programa *“Rocfall 4.0”* da *“Rocscience”*, que será adotado no caso de estudo que adiante se desenvolverá.

3.6.1 Rocfall 4.0

“Rocfall 4.0” é um programa de análise estatística que permite simular a trajetória dos blocos rochosos que apresentam sinais de instabilidade. A análise é efetuada em duas dimensões.

Inicialmente, define-se, em corte, o talude, introduzindo as respectivas coordenadas. Com a superfície delimitada é necessário definir as suas características. É possível introduzir vários materiais, com diferentes propriedades.

Os parâmetros de entrada, dos materiais, referem-se aos coeficientes de restituição normal e tangencial, ao ângulo de atrito e ao desvio padrão da rugosidade (Figura 3.8).

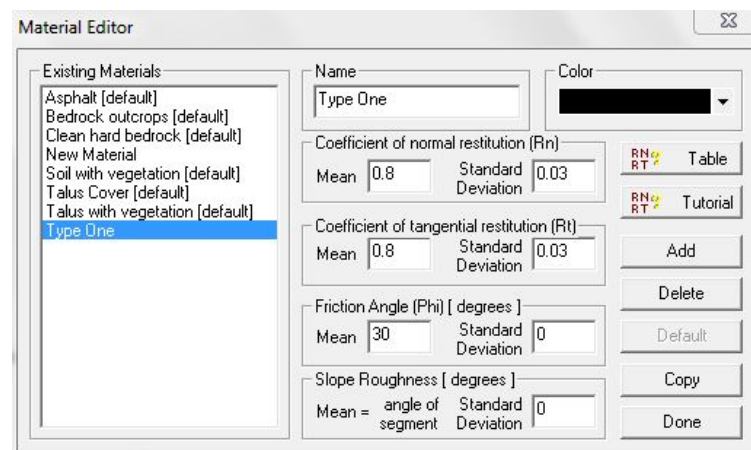


Figura 3.8 - Introdução das características dos materiais no programa de cálculo automático “Rocfall 4.0”.

Após a introdução dos parâmetros referenciados, e para completar o modelo, é necessário definir as condições iniciais das rochas a analisar: a sua localização (ponto ou linha), o seu número, as respectivas massas e velocidades iniciais (horizontal e/ou vertical).

Com a introdução destes elementos, já é possível realizar uma análise de resultados, com recurso a diversos gráficos:

- Localização horizontal do ponto de chegada das rochas;
- Energia cinética (total, translacional e rotacional);
- Velocidade;

- Altura do salto.

Para uma melhor interpretação dos resultados, o programa permite visualizar, em simultâneo, todos os gráficos, possíveis de serem gerados.

As propriedades dos materiais podem ser alteradas em qualquer instante, permitindo a realização de análises de sensibilidade rapidamente.

Com o programa de cálculo automático *“Rocfall 4.0”* é possível a modelação de barreiras de proteção. Estas são representadas através de um segmento de linha e podem ser colocadas em qualquer ponto, ao longo do talude.

Inerente à introdução destes elementos, está a definição das suas propriedades, podendo considerar-se barreiras:

- Perfeitamente elásticas: Coeficientes de restituição = 1;
- Perfeitamente não elásticas: Coeficientes de restituição = 0;
- Personalizadas – Coeficientes de restituição compreendidos entre 0 e 1;

No que se refere à capacidade resistente das barreiras, é possível introduzir o valor que se pretende que esta apresente, podendo, deste modo, verificar-se a conformidade da mesma.

Na Figura 3.9 apresenta-se o editor de barreiras que o programa disponibiliza.

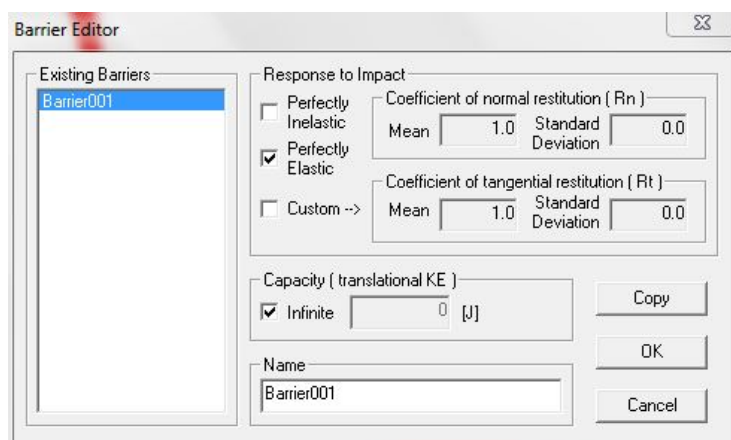


Figura 3.9 - Introdução das características da barreira no programa de cálculo automático *“Rocfall 4.0”*.

Como o próprio manual do programa refere, nenhuma barreira é perfeitamente elástica ou não elástica, pelo que devem ser introduzidos valores do coeficiente de restituição o mais realistas possível.

A(s) barreira(s) colocada(s) deve(m) ter resistência suficiente para reter as rochas provenientes de cotas superiores (Figura 3.10). Quando este cenário não é visível, as rochas acabam por transpor o elemento, não estando a estrutura de proteção a cumprir a sua função.

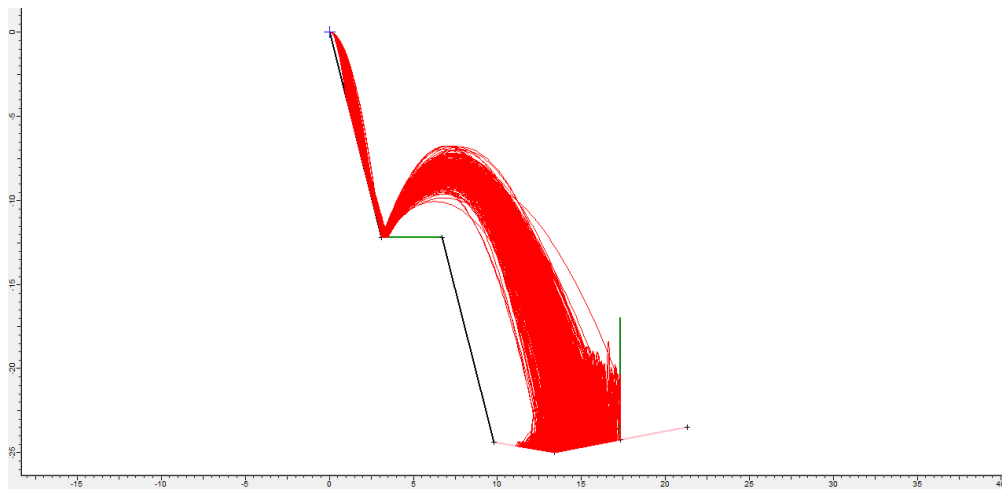


Figura 3.10 - Simulação da trajetória de blocos rochosos num talude com diferentes tipos de terreno e com a introdução de uma barreira com capacidade suficiente para reter blocos rochosos.

Quando as rochas atingem a barreira, podem ser visualizados gráficos relativamente ao impacto:

- energia cinética total;
- energia cinética translacional;
- energia cinética rotacional;
- velocidade rotacional;
- localização da zona de impacto na barreira: X ou Y (horizontal ou vertical).

Os resultados obtidos relativamente à energia cinética e à localização da zona de impacto numa barreira ajudam a que seja possível determinar com maior exatidão a sua resistência, tamanho e localização.

“Rocfall 4.0” permite a introdução de recetores de dados. Estes elementos, representados por segmentos de linha, guardam informação acerca das rochas que os transpõem, como a velocidade, energia cinética, localização vertical e localização horizontal.

Não há qualquer restrição quanto ao número de recetores de dados a utilizar, uma vez que não têm qualquer influência no movimento das rochas e não apresentam qualquer tipo de propriedades.

Este programa disponibiliza, ainda, uma opção de filtragem, onde se pode visualizar informação estatística e gráficos de distribuição apenas para as trajetórias selecionadas.

3.6.1.1 Os coeficientes de restituição, o ângulo de atrito e o desvio padrão da rugosidade

Os coeficientes de restituição normal e tangencial, o ângulo de atrito e o desvio padrão da rugosidade são os 4 parâmetros de caracterização dos materiais a ter em consideração.

O coeficiente de restituição determina a elasticidade dos materiais. Um material perfeitamente elástico tem um coeficiente de restituição unitário. Quando este coeficiente apresenta um valor igual a 1 significa que quando o bloco rochoso atingir esta superfície não terá nenhuma velocidade absorvida no impacto. À medida que o valor do coeficiente de restituição diminui, a energia e a velocidade absorvidas serão maiores. Todos os materiais têm coeficientes de restituição compreendidos entre 0 e 1.

Este coeficiente pode ser separado em dois componentes:

- coeficiente de restituição normal (R_n): define a razão entre a velocidade de saída (normal à superfície) e a velocidade de entrada (normal à superfície).
- e o coeficiente de restituição tangencial (R_t): define a razão entre a velocidade de saída (tangencial à superfície) e a velocidade de entrada (tangencial à superfície).

De modo a que o coeficiente de restituição normal seja o mais fiável possível, deve ser considerada a velocidade da rocha imediatamente antes do impacto, de acordo com as expressões 3.20 e 3.21.

$$R_N \text{ (dimensionado)} = R_N \times \text{fator de escala} \quad (3.20)$$

em que:

$$fator\ de\ escala = \frac{1}{1 + \left(\frac{V_{Rocha}}{K}\right)^2} \quad (3.21)$$

e:

K = velocidade na qual o fator de escala é igual a 0.5;

V_{Rocha} = velocidade da rocha imediatamente antes do impacto, medida segundo a normal à superfície.

O coeficiente de restituição tangencial é geralmente igual ou superior ao coeficiente de restituição normal.

O próprio programa de cálculo automático “*Rocfall 4.0*” disponibiliza diferentes tipos de materiais padrão, já com coeficientes de restituição implementados, conforme demonstra o Quadro 3.7:

Quadro 3.7 - Coeficientes de restituição normal e tangencial de materiais pré-definidos no “*Rocfall 4.0*”.

Tipo de Material	Coeficiente de restituição normal	Coeficiente de restituição tangencial
Asfalto	0.4	0.9
Base rochosa com afloramentos	0.35	0.85
Base rochosa dura limpa	0.53	0.99
Solo com vegetação	0.3	0.8
Talude com vegetação	0.32	0.8

Uma vez que é extremamente difícil obter os coeficientes de restituição com uma certeza absoluta, o programa permite que se introduzam desvios padrão. Em todos os materiais apresentados anteriormente são considerados desvios padrão de 0.04 para o coeficiente de restituição normal e tangencial.

No “*Website*” da “*Rocscience*” é possível encontrar valores de coeficientes de restituição obtidos através de testes e simulações de quedas de rochas realizadas em diversos países. No Quadro 3.8 apresentam-se alguns desses valores.

Quadro 3.8 - Coeficientes de restituição em diversos locais.

Tipo de terreno	RN (médio)	RT (médio)	Local
Rocha com pouco solo ou vegetação	0,35	0,85	Glenwood Canyon, Colorado, EUA
Solo	0.393	0.567	Hong Kong
Rocha limpa	0.53	0.99	Sothtyrol, Itália
Rocha limpa	0.53	0.99	Tasmania, Australia
Betão	0.48	0.53	Takamatsu, Japão

O ângulo de atrito está diretamente relacionado com a forma dos blocos rochosos modelados e com a inclinação dos segmentos que representam a superfície do talude.

O parâmetro designado no “*Rocfall 4.0*” por “ângulo de atrito” é escolhido com base na forma dos blocos rochosos e do tipo de movimento. É entendido como o valor crítico do ângulo dos segmentos do talude que imponha que os blocos rochosos desçam o talude. Na modelação do “*Rocfall 4.0*” os blocos rochosos são reduzidos a um ponto, não sendo considerados os respetivos tamanhos e formas. Este “ângulo de atrito” pretende atender a este facto, traduzindo, indiretamente, o efeito desse tamanho e dessa forma nas características do movimento do bloco. Por exemplo, o valor do “ângulo de atrito” será muito diferente se o bloco é esférico ou planar. Se o bloco é planar o movimento será essencialmente por deslizamento e o valor do “ângulo de atrito” será mais alto e próximo do valor do “ângulo de atrito” convencional. Se o bloco é esférico o movimento será essencialmente por rolamento e o valor do “ângulo de atrito” deverá ser mais baixo, próximo de 0. Uma vez que as formas dos blocos rochosos estão, normalmente, compreendidos entre estes dois limites, devem ser considerados valores de “ângulo de atrito” contidos no intervalo referido e que atendam à forma do bloco.

O parâmetro relativo ao desvio padrão da rugosidade pretende considerar uma pequena variação da geometria do talude, ou seja, pretende caracterizar possíveis erros da trajetória do modelo bidimensional. De acordo com a informação recolhida no “*site*” da “*Rocscience*”, este parâmetro assume, geralmente, valores inferiores a 5.

3.6.2 Swedge

“Swedge” é um programa de cálculo automático que avalia a estabilidade de cunhas em taludes rochosos, definidas pela interseção de duas descontinuidades.

A estabilidade das cunhas pode ser avaliada recorrendo a dois métodos:

- Método determinístico (fator de segurança);
- Método probabilístico (probabilidade de rotura).

Para a análise determinística, o “software” calcula o fator de segurança para uma cunha em que a sua orientação seja conhecida. Relativamente à análise probabilística, a entrada de dados estatísticos tem como principal função dar conta da incerteza no que se refere, por exemplo, à orientação da cunha. Isto resulta num coeficiente de segurança de distribuição, a partir do qual uma probabilidade de rotura é calculada.

Em todos os casos, o modo de rotura assumido é o deslizamento translacional. Deslizamento rotacional e tombamento não são considerados.

“Swedge” calcula o fator de segurança para um determinado deslizamento translacional de uma cunha tetraédrica num talude rochoso, formado pela:

- interseção de duas descontinuidades;
- face do talude;
- superfície da cunha.

O programa permite a modelação do talude com a introdução da pressão da água, de forças sísmicas, de fissuras preenchidas (por exemplo, preenchidas com água), de pregagens ou ancoragens, de apoios em betão armado, etc..

Relativamente ao funcionamento do programa, inicialmente introduzem-se as unidades a utilizar no projeto e o tipo de análise pretendida: determinística ou probabilística (Figura 3.11).

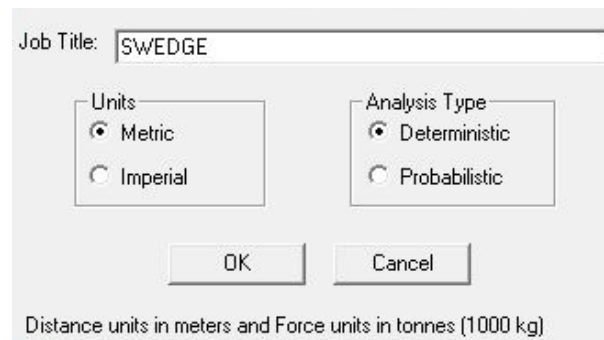


Figura 3.11 - Escolha das unidades do projeto e do tipo de análise a utilizar.

Recorrendo ao método determinístico, devem ser inseridos os seguintes parâmetros:

- Coesão;
- Ângulo de atrito;
- Presença de água;
- Forças externas;
- Forças sísmicas.

Na Figura 3.12 ilustra-se uma rotura em cunha com a presença de uma força externa estabilizadora, da força sísmica e da pressão de água.

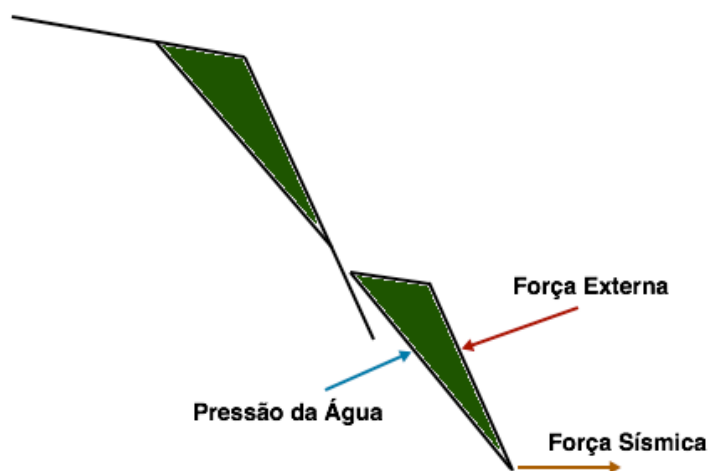


Figura 3.12 - Exemplo de uma rotura em cunha com presença de forças.

Em muitos casos, nem todos os dados são preenchidos, uma vez que a avaliação da segurança pode ser realizada, admitindo-se as forças sísmicas nulas. Após a inserção dos dados referenciados, o programa calcula, automaticamente, o fator de segurança, podendo apresentar, quando solicitado, um relatório para análise dos resultados obtidos.

Analisando o método probabilístico, observa-se que se trata de uma ferramenta com um grau de complexidade maior, comparativamente com o método determinístico; no entanto, os dados inseridos são os mesmos, com uma distribuição estatística associada (inserem-se máximos e mínimos relativos e desvio padrão). A distribuição estatística pode ser normal, uniforme, triangular, beta ou exponencial.

O resultado primário deste tipo de análise é a probabilidade de rotura. Este método concede ao utilizador a oportunidade de gerar histogramas, por exemplo, de fatores de segurança. Neste caso, o histograma representa a distribuição dos fatores de segurança para todas as cunhas válidas geradas, pelo método de amostragem de Monte Carlo (pré-definido). Também podem ser gerados gráficos de dispersão que permitem aos utilizadores examinar as relações entre análises de variáveis, por exemplo, fator de segurança vs peso da cunha.

4 PERIGOSIDADE, VULNERABILIDADE E RISCO EM TALUDES

Este capítulo seguiu de perto as obras de Guidicini & Nieble (2003), González de Vallejo et al. (2002) e Wyllie (2015).

Os processos geodinâmicos que afetam a superfície terrestre dão lugar a movimentos do terreno que podem constituir riscos geológicos e afetar de uma forma direta ou indireta a atividade humana.

Fenômenos tão variados como a erosão, movimentos sísmicos, erupções vulcânicas e precipitações podem produzir deslizamentos, desprendimentos, derrubamentos, etc. (González de Vallejo et al., 2002).

A realização de uma proteção estrutural em taludes rochosos tem como principal função fornecer os adequados níveis de segurança, quando a probabilidade de ocorrência de acidentes é significativa.

Por exemplo, um método de proteção adequado para uma casa localizada abaixo de uma zona com probabilidade de queda de blocos de rochosos poderá ser a introdução de valas ou barreiras, que deverão ser periodicamente inspecionadas e mantidas. Quando o elemento com risco de ser atingido se encontra encerrado ao público, pode optar-se pela instalação de uma proteção estrutural mais ligeira.

O processo para selecionar uma apropriada medida de proteção pode ser quantificado utilizando um método de gestão do risco, diretamente relacionado com a probabilidade da ocorrência de acidentes, com as consequências dos acidentes em termos sociais e financeiros e com o custo de construção e de manutenção das medidas de proteção (Wyllie, 2015).

4.1 DEFINIÇÕES DE PERIGOSIDADE, VULNERABILIDADE E RISCO

Na quantificação dos efeitos dos perigos naturais tais como quedas de blocos de rocha, é necessário definir perigosidade, vulnerabilidade e risco, separadamente, mas relacionados.

Perigosidade poder-se-á definir como a probabilidade da ocorrência de um processo de um nível de intensidade ou severidade determinado, dentro de um dado período de tempo e de uma área específica (Varnes, 1984).

O perigo de queda de blocos de rocha é a combinação de uma fonte, um fenómeno desencadeante e um caminho a partir da fonte até ao objeto em risco.

A fonte pode ser o declive natural e é definido pela topografia e pela geologia do local.

No que diz respeito à topografia, o ângulo de inclinação do talude deverá ser mais acentuado que o ângulo de repouso, de modo a que se gerem quedas de blocos de rocha.

Os fatores geológicos que influenciam diretamente o perigo da queda de blocos de rochas são as características das descontinuidades; com o espaçamento e a persistência define-se o tamanho das rochas que apresentam probabilidade de queda, e com a sua atitude define-se o possível modo de rotura.

O peso e a forma das rochas também são aspetos importantes, na medida em que, durante a fase de rolamento ou de salto as rochas podem manter-se intactas, não se fragmentando em elementos menores, menos perigosos.

A queda de blocos de rocha depende, frequentemente, do clima ou da ação sísmica. Estudos e registos de quedas de blocos de rocha permitem observar que a ocorrência deste fenómeno está fortemente correlacionado com chuvas e ciclos de gelo-degelo, uma vez que a água penetra nas descontinuidades, introduzindo pressões elevadas que deslocam os blocos. Em climas húmidos, uma causa relacionada com a queda de blocos de rochas é a vegetação, mais propriamente as raízes das árvores, uma vez que penetram pelas aberturas das rochas, fragmentando-as.

Em áreas com ação sísmica de intensidade considerável o movimento de terras origina a queda de blocos de rochas bem como o seu deslizamento.

A distância que os blocos rochosos podem percorrer ao longo de uma queda depende de fatores tais como o tamanho e a forma do bloco, a inclinação do talude, a composição e as irregularidades da superfície.

As medidas de proteção podem ser colocadas em qualquer posição ao longo do caminho, mas, de preferência, num local em que seja possível realizar, mais facilmente, a sua inspeção e manutenção.

O conceito de vulnerabilidade está relacionado com a pré-disposição do elemento para sofrer danos ou ser afetado, mediante a ocorrência de um evento com uma determinada intensidade. De acordo com Varnes (1984) vulnerabilidade define o grau de danos ou potenciais perdas causadas num elemento ou conjunto de elementos como consequência da ocorrência de um fenómeno com determinada intensidade.

Segundo a ISSMGE (Sociedade Internacional de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica), a definição de vulnerabilidade depende da ameaça que atua, assim como do elemento vulnerável. O conceito de vulnerabilidade está diretamente relacionado com a exposição do elemento, a possibilidade de ocorrer uma fatalidade, as consequências, entre outros fatores.

De modo a que seja possível diminuir o fator relacionado com a vulnerabilidade devem ser adotadas medidas de proteção para que as consequências de um determinado acontecimento sejam diminuídas substancialmente.

“Situações de risco são aquelas em que existe uma condição hipotética de danos a pessoas ou de danos materiais, provocada ou ameaçada por um suposto processo natural.” (Llorent & Laín, 2009).

O conceito de risco incorpora considerações sócio-económicas, ambientais e patrimoniais e define-se como as potenciais perdas devidas a um fenómeno natural determinado. Por exemplo, Barbat (1998) define como risco sísmico as perdas esperadas que as estruturas sofram durante o lapso de tempo que permanecem expostas à ação sísmica (Guidicini & Nieble, 2003).

No que se refere a taludes, qualquer objeto que se encontra no caminho de uma potencial queda de blocos de rochas, está em risco de sofrer danos. Por exemplo, numa estrada protegida por uma vala, em que as pedras saltem por cima da vala e atinjam a estrada, existe um risco de estas danificarem veículos. O risco aumenta ou diminui conforme a frequência de tráfego. Outra componente do risco é a consequência de um acidente. A consequência de um acidente seria um dos fatores a ter em conta na avaliação da necessidade de introduzir medidas de proteção (Wyllie, 2015).

4.2 LEVANTAMENTO DA PERIGOSIDADE E DO RISCO

O primeiro passo para quantificar a perigosidade e o risco é realizar um levantamento das condições do local. Por exemplo, em vias de transporte com um elevado número de vertentes rochosas, o

levantamento seria descrever as características físicas de cada vertente, para definir a perigosidade, bem como as condições do caminho e do trânsito para definir o risco (Wyllie, 2015).

Um método de levantamento bastante conhecido define um sistema de classificação de perigosidade e de risco de quedas de blocos de rocha (para infraestruturas rodoviárias) através dos seguintes parâmetros (Wyllie, 1987; Pierson et al., 1990):

Fatores de Perigosidade

- Altura máxima da fonte da queda de blocos de rocha;
- Geologia do local;
- Tamanho do bloco;
- Clima;
- Historial de queda de blocos de rocha.

Fatores de risco

- Percentagem de tempo que os veículos se encontram abaixo do talude;
- Capacidade de os condutores visualizarem quedas de rochas e tomarem uma decisão evasiva;
- Espaço disponível para conter quedas de rochas e para os condutores tomarem medidas evasivas;
- Eficácia das valas – largura e profundidade das valas e a sua eficácia para conter rochas provenientes de cotas superiores.

De acordo com o método, para cada parâmetro é definida uma classificação que posteriormente permite obter o grau de perigosidade e de risco para o local em análise (Wyllie, 2015).

4.3 PREVENÇÃO E ATENUAÇÃO DOS RISCOS

A prevenção dos riscos geológicos consiste em prever ou conhecer com antecipação a ocorrência de um fenómeno no tempo e num lugar, com a finalidade de:

- evitar o processo;
- controlar ou diminuir o dito processo;
- avisar, preparar ou proteger-se dele.

O tipo de atuação dependerá das características do processo, da sua velocidade e magnitude.

A prevenção baseia-se no conhecimento das características dos processos, em análises de dados anteriores, observações científicas e na monitorização e detecção de anomalias.

É possível conhecer os locais onde atuam e atuaram processos geológicos, por exemplo, as zonas sísmicas ou vulcânicas, ou as zonas em que se espera que ocorram deslizamentos.

Alguns processos não se podem prevenir, evitar ou controlar (terramotos, grandes deslizamentos), pelo que no caso de constituir um risco apenas se pode atuar no sentido de proteger ou atenuar os efeitos.

A atenuação consiste em moderar ou diminuir as perdas e os danos mediante o controlo do processo e/ou em proteger os elementos expostos.

Existem zonas que apresentam um enorme potencial de serem afetadas por um processo de grande intensidade ou magnitude, que não deveriam ser ocupadas em nenhum caso, por exemplo no caso de falhas ativas. Para identificar estas zonas ou aquelas que podem ser ocupadas com restrições ou condições é necessário realizar mapas de perigosidade, onde se divide o território segundo um grau de potencial perigo. São necessários estudos geológicos prévios à utilização do território ou à construção de infraestruturas (González de Vallejo et al., 2002).

5 INSPEÇÃO DE TALUDES

A inspeção de um talude em maciço rochoso é uma das tarefas com maior importância no desenvolvimento de um projeto de estabilização. O processo de tomada de decisão relativo à realização (ou não) de um projeto de proteção ou de estabilização apoia-se no diagnóstico obtido após a realização de uma inspeção cuidada. A incorreta avaliação de uma anomalia pode implicar consequências de elevada gravidade, desde a escolha e o dimensionamento incorreto de uma solução de proteção ou de estabilização.

Numa inspeção é fundamental:

- recolher toda a informação possível acerca do elemento a inspecionar, através de:
 - relatórios de inspeções anteriores (se realizadas);
 - documentação acerca de acidentes ou incidentes ocorridos;
 - queixas apresentadas;
 - relatos verbais.
- visitar o local, recorrendo a levantamentos fotográficos e cartográficos para posterior análise;
 - é essencial um detalhado levantamento fotográfico, focando os elementos de várias perspectivas, de modo a caracterizá-los da melhor forma possível.
- realizar uma ficha de inspeção cuidada por local ou por anomalia;
 - de acordo com o elemento a inspecionar e após uma inspeção visual é perceptível que tipo de anomalias estão presentes. Esta primeira inspeção visual é fulcral para a adoção de uma ficha de inspeção cuidada.

- percorrer o local preenchendo a respetiva ficha;
 - permite recolher a informação necessária e o preenchimento da ficha;
 - permite validar a ficha de inspeção uma vez que permite, “*in situ*”, observar o que se encontra em falta (ou não) na mesma.

No presente trabalho propõe-se a adoção de duas fichas de inspeção:

- uma, destinada à caracterização da vertente, eventualmente definindo setores;
- e outra, destinada à avaliação da estabilidade de cada bloco rochoso.

A divisão do talude em setores pode ser preponderante se forem identificadas condições de semelhança que justifiquem esse agrupamento. Essa divisão poderá otimizar a avaliação da segurança de blocos rochosos potencialmente instáveis e a definição de soluções de proteção e de estabilização.

Na ficha de inspeção deve constar a informação referida no Quadro 5.1:

Quadro 5.1 - Informações que devem constar na ficha de inspeção.

• Localização pormenorizada do elemento a inspecionar
• Data da realização da inspeção
• Inspetor e responsável pela inspeção
• Condições ambientais na data da inspeção
• Tipo de acesso

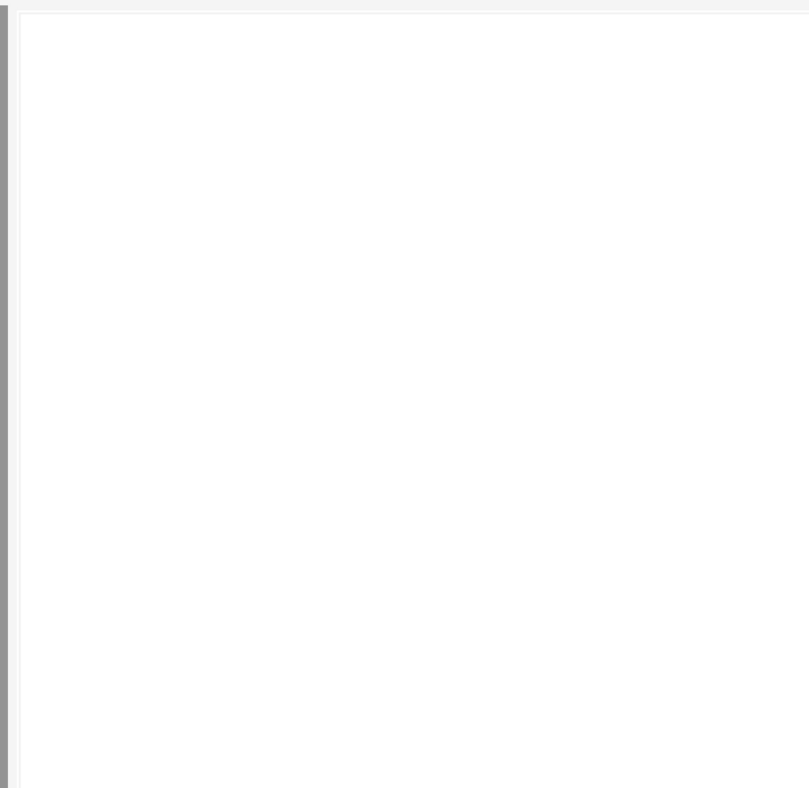
Na inspeção de cada setor constituinte do talude devem caracterizar-se os aspetos indicados no Quadro 5.2:

Quadro 5.2 - Aspetos a caracterizar na ficha de inspeção.

Geologia	Geomorfologia	Hidroclimatologia	Rede hidrográfica
Geometria	Existência de cobertura vegetal		Presença de água

Analisando criteriosamente as 7 características apresentadas é possível identificar qual o setor que representa maior risco de queda de blocos e, consecutivamente, maior risco para as pessoas e bens materiais.

Apresenta-se, em seguida, a ficha de inspeção, proposta, por setor (Figura 5.1).

Ficha de Inspeção Geral (Versão preliminar)			
Tipologia			
Vertente:	<input type="text"/>	Escarpa:	<input type="text"/>
		Talude:	<input type="text"/>
Identificação			
Setor:			
Localização:		Carta militar nº (1:25 000)	<input type="text"/>
		Carta geológica nº (1:50 000)	<input type="text"/>
Condições de acesso			
Fácil:	<input type="text"/>	Difícil:	<input type="text"/>
		Condicionado:	<input type="text"/>
		Inacessível:	<input type="text"/>
Observações:			
Enquadramento			
<div><div>Setor em estudo:</div><div></div></div>			
Sistema de coordenadas: Hayford-Gauss Datum 73			

GeologiaLitologia: Estrutura: **Geomorfologia (T - Topo; I - Intermédio; B - Base)**Vertente (T;I;B): Escarpa (T;I;B): Talude (T;I;B): **Hidroclimatologia**Temperatura média do ar (°C): Data: Hora: Humidade relativa (%): Amplitude térmica máxima (°C): Diária: Anual: Precipitação máxima (mm): Diária: Anual: Observações: **Rede hidrográfica**Permanente: Temporária: Inexistente: Área da bacia (m2) Observações: **Caracterização geométrica**Orientação: Altura (m): Declive (°): Extensão (m): Área de exposição (m2): **Cobertura vegetal**Herbácea (Dispersa): Arbustiva (Dispersa): Arbórea (Dispersa): Herbácea (Densa): Arbustiva (Densa): Arbórea (Densa): Inexistente: **Presença de água**Superficial: Fluxo: Gotejante: Húmido: Seco: Nascente: Nº: Caudal médio (L/s):

Fotografias

Setor em estudo:

Data da inspecção:

Início:

Fim:

Preenchido:

Data:

Verificado:

Data:

Página 3 de 3

Figura 5.1 – Ficha de inspeção, proposta, por setor.

Relativamente à inspeção dos blocos potencialmente instáveis, e para que a inspeção seja detalhada, é necessário observar os aspetos indicados no Quadro 5.3.

Quadro 5.3 - Aspetos a observar na inspeção de blocos potencialmente instáveis.

• Forma do bloco
• Dimensões do bloco
• Litologia
• Grau de alteração, de acordo com a ISRM
• Grau de fraturação, de acordo com a ISRM
• Classe de resistência (utilizando o esclerómetro de Schmidt)
• Se o bloco se encontra isolado ou associado ao maciço rochoso

Tratando-se de um bloco não isolado (denominado BL) será necessário caracterizar as descontinuidades e indicar qual o tipo de instabilidade potencial.

Quando se está na presença de um bloco isolado (denominado BI) é importante definir a sua superfície de apoio, a inclinação que apresenta, se possui vegetação e se há presença de água.

Após a caracterização de cada bloco (isolado ou não isolado), e caso seja possível, é essencial definir a trajetória que este pode tomar (com o auxílio de programas de cálculo automático), de modo a verificar se, em caso de queda, o bloco coloca em perigo a segurança de pessoas e de bens materiais, bem como para melhor definir a solução de proteção ou de estabilização a adotar.

Relativamente às anomalias possíveis de serem identificadas, na inspeção dos blocos, o Quadro 5.4 apresenta as mais comuns.

Quadro 5.4 - Anomalias mais comuns em blocos de taludes rochosos.

• Presença de descontinuidades
• Abertura das descontinuidades
• Descalçamento
• Presença de vegetação com efeito instabilizador
• Deslocamento dos blocos
• Presença de blocos com efeito instabilizador (sobrecarga)
• Presença de água nas descontinuidades ou na base dos blocos

Posteriormente à identificação das anomalias, é fulcral realizar a sua classificação.

Em casos típicos adota-se o critério estabelecido no Manual de Especificações Técnicas relativo a Inspeções Principais das Estradas de Portugal, E.P.E, com algumas adaptações.

A classificação a atribuir a uma determinada anomalia observada é obtida, somando as pontuações parciais relativas:

- à **caracterização da(s) anomalia(s)**, à qual se atribui uma pontuação de 0 a 3, resultante da soma das pontuações atribuídas à natureza da anomalia, ao seu desenvolvimento e à sua extensão, de acordo com o Quadro 5.5.

Quadro 5.5 - Caracterização da anomalia.

<i>Anomalia</i>	<i>Caracterização da anomalia</i>		
	<i>Natureza</i>	<i>Desenvolvimento</i>	<i>Extensão</i>
<i>0</i>	<i>Pouco grave</i>	<i>Limitado e estável</i>	<i><50% do admissível</i>
<i>1</i>	<i>Grave</i>	<i>Significativo ou em evolução</i>	<i>>50% do admissível</i>

- à **consequência da(s) anomalia(s)**, à qual se atribui uma classificação que varia entre 0 e 1;

- consequência local – 0;
- consequência global – 1;

Deste modo, esta classificação, adaptada, pode resultar num nível de gravidade que varia entre 0 e 4 (Quadro 5.6).

Quadro 5.6 - Caracterização da anomalia para obtenção do nível de gravidade.

<i>Anomalia</i>	<i>Caracterização da anomalia</i>			<i>Consequência</i>	<i>NGA</i>
	<i>Natureza</i>	<i>Desenvolvimento</i>	<i>Extensão</i>		
0	Pouco grave	Limitado e estável	<50% do admissível	Local	
1	Grave	Significativo ou em evolução	>50% do admissível	Global	

No caso de existir mais do que uma tipologia de anomalia no mesmo bloco, com a mesma classificação, o nível de gravidade da anomalia deverá sofrer uma ponderação, de modo a que seja possível agravar a gravidade inerente ao bloco. Deste modo, idealizou-se a majoração apresentada no Quadro 5.7.

Quadro 5.7 - Fator de agravamento a considerar em função do número de anomalias.

Nº de anomalias	Fator de agravamento
1	0
2	0.1
3	0.25
4	0.5
5	0.8
≥ 6	0.9

Com o auxílio do quadro apresentado foi possível deduzir o nível de gravidade final da anomalia, como demonstra a expressão 5.1.

$$NGA = NGA' + f \quad (5.1)$$

em que:

- NGA representa o nível de gravidade final da anomalia, após o agravamento;
- NGA' representa o nível de gravidade da anomalia, antes do agravamento;
- f é o fator de agravamento.

Como se pode observar, o fator de agravamento aumenta quanto maior for o número de anomalias com uma determinada classificação. Caso exista uma ou mais anomalias de grau 4, não é necessária uma ponderação, uma vez que já foi atingido o valor máximo.

Dado que o nível de gravidade da anomalia pode assumir valores não inteiros, tornou-se necessário criar intervalos de gravidade, de modo a que seja possível atribuir às anomalias um valor arredondado à unidade, conforme ilustra o Quadro 5.8.

Quadro 5.8 - Intervalos de gravidade e classificação final da anomalia.

Intervalo de gravidade	Classificação final da anomalia
0	0
1 - 1.45	1
1.5 - 2.45	2
2.5 - 3.45	3
3.5 - 4	4

Uma vez concluída a classificação do nível de gravidade final da anomalia (NGA), é importante caracterizar o nível de gravidade do bloco (NGB). Nesta caracterização será possível avaliar campos que não foram considerados nos pontos anteriores. Desta forma, é preponderante contabilizar os seguintes parâmetros:

- caracterização do bloco:

- avaliação qualitativa do seu peso;
- identificação da sua forma;

- nível de instabilidade potencial:

- reduzido;
- médio;
- elevado;

- caracterização da superfície da trajetória:

- quanto à sua inclinação;
- quanto à percentagem aproximada de cobertura com solo.

Todos os parâmetros avaliados poderão ter uma classificação atribuída que varia entre 1 e 3, de acordo com a gravidade que apresenta. Na classificação do nível de gravidade do bloco (NGB) deverá ainda ser contabilizado o nível de gravidade da anomalia final (NGA). A expressão 5.2 traduz a classificação final do nível de gravidade do bloco.

$$NGB = \sum_i^n P + NGA \quad (5.2)$$

em que:

- P são os parâmetros avaliados.

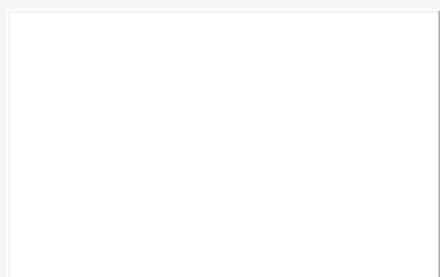
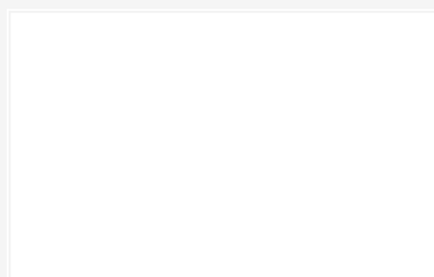
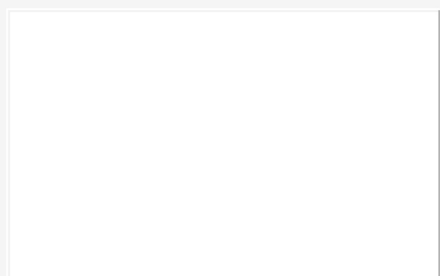
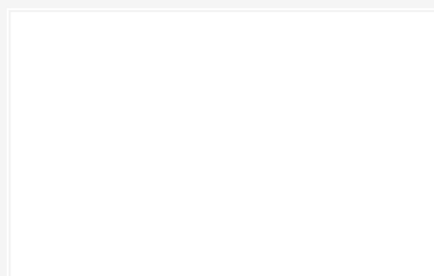
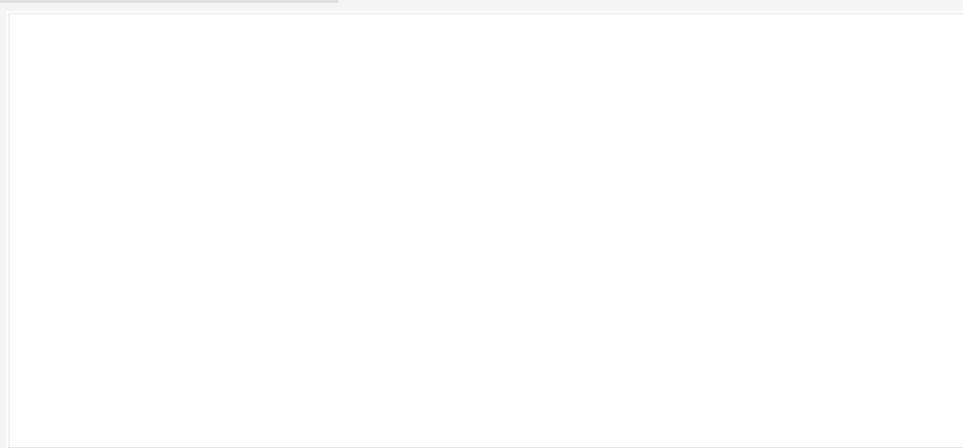
O nível de gravidade do bloco (NGB) estará compreendido num intervalo que varia entre 5 no mínimo e 19 no máximo. Com este sistema de avaliação é possível hierarquizar os blocos, de acordo com a gravidade que apresentam (Quadro 5.9).

Quadro 5.9 - Hierarquização segundo o nível de gravidade.

NGB	Nível de Gravidade
5 a 8	Baixo
9 a 12	Médio
13 a 16	Elevado
17 a 19	Muito Elevado

Apresenta-se, na Figura 5.2, a ficha de inspeção por bloco potencialmente instável definida para se aplicar ao caso de estudo.

Ficha de Inspeção (por bloco potencialmente instável)			
Data de inspeção:	Início: <input type="text"/>	Fim: <input type="text"/>	
	Preenchido: <input type="text"/>	Data: <input type="text"/>	
	Verificado: <input type="text"/>	Data: <input type="text"/>	
Identificação			
ID Bloco: <input type="text"/>	Setor: <input type="text"/>	Coordenadas (Hayford-Gauss Datum73):	X: <input type="text"/>
Designação: <input type="text"/>			Y: <input type="text"/>
Condições			
Meteorológicas:	Céu limpo: <input type="text"/>	Acesso:	Directo: <input type="text"/>
	Parcialmente nublado: <input type="text"/>		Binóculos: <input type="text"/>
	Nublado: <input type="text"/>		Inacessível: <input type="text"/>
	Chuva: <input type="text"/>		
Caracterização			
Forma: <input type="text"/>	Dimensão (cm): <input type="text"/>		
Litologia: <input type="text"/>			
Grau de alteração (W): <input type="text"/>	Grau de fracturação (F): <input type="text"/>	Classe de resistência (S): <input type="text"/>	
Não isolado: <input type="text"/> Isolado: <input type="text"/>			
Não isolado			
Descontinuidades:	Abertas: <input type="text"/>	Preenchidas: <input type="text"/>	Material de preenchimento: <input type="text"/>
		Não preenchidas: <input type="text"/>	
	Fechadas: <input type="text"/>	Orientação: <input type="text"/>	
	Com presença de água: <input type="text"/>		
	Sem presença de água: <input type="text"/>		
Tipo de instabilidade potencial:			
Cunha: <input type="text"/>	Toppling: <input type="text"/>		
Planar: <input type="text"/>	Desprendimento: <input type="text"/>		
Isolado			
Superfície de apoio:	Solo: <input type="text"/>	Rocha: <input type="text"/>	Rocha esmagada: <input type="text"/>
	Inclinação aproximada (°): <input type="text"/>		
	Com vegetação: <input type="text"/>	Sem vegetação: <input type="text"/>	
	Com escoamento de água: <input type="text"/>	Sem escoamento de água: <input type="text"/>	

Localização - Fotografias*a**b**c**d***Legenda:****Trajectória do bloco - corte transversal**

ID Bloco:

Página 2 de 7

Anomalias

Presença de
descontinuidades (1):

Abertura das
descontinuidades (2):

Descalçamento (3):

Presença de vegetação com
efeito instabilizador (4):

Deslocamento dos blocos (5):

Outro (8):

Presença de blocos com efeito
instabilizador (sobrecarga) (6):

Presença de água nas descontinuidades
ou na base dos blocos (7):

Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
0	Pouco grave	Limitado e estável	<50% do admissível	Local	
1	Grave	Significativo ou em evolução	>50% do admissível	Global	

Fotografias ou esquemas interpretativos

Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
0	Pouco grave	Limitado e estável	<50% do admissível	Local	
1	Grave	Significativo ou em evolução	>50% do admissível	Global	

Fotografias ou esquemas interpretativos

NGA - Nível de gravidade da anomalia

	Caracterização do bloco		Nível de instabilidade potencial	Caracterização da superfície da trajectória		Anomalia	NGB
	Peso	Forma		Inclinação	Cobertura com solo	NGA	
1	Reduzido	Planar	Reduzido	<30°	>60%		
2	Médio	Paralelepípedica	Médio	>30° e <60°	>20% e <60%		
3	Elevado	Esférica	Elevado	>60°	<20%		

NGB - Nível de gravidade do bloco (5 a 19)

ID Bloco: Página 7 de 7

Figura 5.2 - Ficha de inspeção por bloco potencialmente instável

6 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE TALUDES ROCHOSOS

A importância do conhecimento do comportamento de taludes rochosos originou a elaboração de vários estudos com o intuito de desenvolver sistemas de avaliação de qualidade de taludes de uma forma simples e fidedigna.

Pinheiro et al. (2015) desenvolveram um sistema de avaliação de qualidade de taludes rochosos (SQI) com o objetivo de dar resposta a um conjunto de necessidades e opções estratégicas das empresas concessionárias de infraestruturas rodoviárias.

O sistema de avaliação SQI baseou-se no sistema de classificação de massas rochosas desenvolvido por Liu and Chen (2007) que compreende a classificação de três fatores pelos seus graus de importância (pesos). A este sistema foram adicionados um número alargado de parâmetros de avaliação, de modo a considerar um maior número de fatores condicionantes na estabilidade de taludes.

Pinheiro et al. (2015) consideraram ainda outros métodos validados de avaliação de taludes rochosos, como o método RHRS_m desenvolvido por Budetta (2004) (modificação do método RHRS desenvolvido por Pierson et al. (1990)), que conta com a avaliação de 10 parâmetros. Este sistema de avaliação encontra-se desenvolvido com a finalidade de analisar o risco de queda de blocos.

O sistema SQI incorpora 9 fatores com pesos associados e que, direta ou indiretamente, estão relacionados com a estabilidade dos taludes. A obtenção do índice de qualidade é efetuada através de a avaliação destes 9 fatores que, por sua vez, se desdobram em vários parâmetros. A quota a atribuir a cada parâmetro varia entre 1 e 5.

O cálculo do SQI é efetuado através da expressão 6.1:

$$SQI = \sum_{i=1}^n W_i \times X_i \quad (6.1)$$

em que:

- W_i representa o peso de cada um dos fatores;
- X_i é o valor da classificação atribuído a cada fator.

O valor de X_i obtém-se, aplicando a equação 6.2:

$$X_i = \sum_{i=1}^n W'_i \times X'_i \quad (6.2)$$

em que:

- W'_i é o peso atribuído a cada parâmetro;
- X'_i é a cotação que varia entre 1 e 5, a atribuir a cada um dos parâmetros.

Após o cálculo de SQI, o valor numérico deve ser convertido para uma escala qualitativa e não apenas quantitativa, fornecendo assim uma compreensão mais intuitiva do estado de qualidade do talude em avaliação e do nível de risco associado (Quadro 6.1).

Quadro 6.1 - Classificação quantitativa, qualitativa e quanto ao nível de risco de um talude de escavação em rocha (Pinheiro et al., 2015).

SQI	Estado do talude	Nível de risco
[1; 1.4]	Muito bom	Muito baixo
[1.5; 2.4]	Bom	Baixo
[2.5; 3.4]	Médio	Médio
[3.5; 4.2]	Mau	Alto
[4.3; 5]	Muito mau	Muito alto

No Quadro 6.2 apresentam-se os fatores a considerar na avaliação do talude, bem como os respectivos pesos finais.

Quadro 6.2 - Peso de cada fator para o cálculo do índice de qualidade (Pinheiro et al., 2015).

Fator	Peso
Geométrico	0.17
Geológico	0.14
Sistema de drenagem	0.11
Inspeções	0.13
Monitorização	0.11
Imediações	0.09
Historial	0.07
Proteção	0.10
Ambiental/ Tráfego	0.08

Pinheiro et al. (2015) indicam que caso ocorra ausência de dados relativos a algum dos parâmetros ou de fatores inteiros assume-se que o peso relativo aos mesmos deve ser distribuído pelos restantes fatores, proporcionalmente aos pesos atribuídos inicialmente.

No Quadro 6.3 apresenta-se o método desenvolvido por Pinheiro et al. (2015) para obter o índice de qualidade dos taludes.

Quadro 6.3 - Sistema SQI: determinação do índice de qualidade de taludes (Pinheiro et al., 2015).

Fatores	Parâmetros		Categorias e classificações				
Geométrico 0.17	Altura do talude (m) 0.5		<10	10-20	20-30	30-40	>40
			Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
	Classificação		1	2	3	4	5
	Inclinação do talude (°) 0.35		<30	30-40	41-50	51-60	>60
			Muito gradual	Gradual	Médio	Inclinado	Muito inclinado
	Classificação		1	2	3	4	5
	Ângulo da banquetta 0.15		Correto	Incorreto			
	Classificação		1-2	4-5			
Geológico 0.14	Formação 0.5	Tipo 0.4	I	II	III	IV	V
		Classificação	1	2	3	4	5
		Grau de alteração (W) 0.3	W1	W2	W3	W4	W5
		Classificação	1	2	3	4	5
		Falhas 0.3	Existe	-	-	-	-
		Classificação	4-5				
	Blocos 0.2	RHRSm2	<51	51-153	153-333	333-459	>459
		Classificação	1	2	3	4	5
	Sistema de classificação (apenas 1) 0.3	Q 0.33	40-1000	10-40	4-10	1-4	0.001-1
		Classificação	1	2	3	4	5
		RMR 0.34	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0
		Classificação	1	2	3	4	5
		SMR 0.33	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0
		Classificação	1	2	3	4	5

Sistema de drenagem 0.11	Drenagem superficial 0.6	Estado de conservação 0.35	Muito bom	Bom	Médio	Mau	Muito mau
		Classificação	1	2	3	4	5
		Estado de manutenção 0.45	Bom	Médio	Mau	-	-
		Classificação	1	2	3	-	-
		Presença 0.2	Sim	Não	-	-	-
		Classificação	1-2	4-5	-	-	-
	Drenagem profunda 0.2	Presença 1	Sim	Não	-	-	-
		Classificação	1-2	4-5	-	-	-
	Drenagem das banquetas 0.2		Sim	Não	-	-	-
	Classificação		1-2	4-5	-	-	-
Inspeção visual 0.13	Estado de conservação 0.6	Classificação	Muito bom	Bom	Médio	Mau	Muito mau
		Classificação	1	2	3	4	5
	Estado de manutenção 0.4	Classificação	Bom	Médio	Mau	-	-
		Classificação	1	2	3	-	-
Monitorização 0.11	Células de carga 0.25	Intervalos	1	2	3	4	5
		Classificação	[0%-20[	[20%-40%[	[40%-60%[	[60%-80%[	[80%-100%[
	Inclinómetros 0.25	Intervalos	1	2	3	4	5
		Classificação	[0%-20[	[20%-40%[	[40%-60%[	[60%-80%[	[80%-100%[
	Piezómetros 0.25	Intervalos	1	2	3	4	5
		Classificação	[0%-20[	[20%-40%[	[40%-60%[	[60%-80%[	[80%-100%[
	Alvos Topográficos 0.25	Intervalos	1	2	3	4	5
		Classificação	[0%-20[	[20%-40%[	[40%-60%[	[60%-80%[	[80%-100%[
	Acidentes 0.7	Queda de blocos 0.25	Nenhuma	Inativa	Alguma	Relativamente ativa	Muito ativa
		Classificação	1	2	3	4	5
		Deslizamento planar 0.25	Nenhuma	Inativa	Alguma	Relativamente ativa	Muito ativa
		Classificação	1	2	3	4	5
		Cunha de rocha 0.25	Nenhuma	Inativa	Alguma	Relativamente ativa	Muito ativa
		Classificação	1	2	3	4	5
		Diretriz circular 0.25	Nenhuma	Inativa	Alguma	Relativamente ativa	Muito ativa
		Classificação	1	2	3	4	5
Historial 0.07	Intervenções		Grau 3	Grau 2	Grau 1	-	-
	Classificação		1-2	3	4-5	-	-

Ambiental/ Tráfego 0.08	Zona Sísmica 0.3	Tipo 2 0.6	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
		Classificação	5	4	3	2	1
		Tipo 1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5-1.6
		Classificação	5	4	3	2	1
	Precipitação média anual (mm) 0.5		<100	100-500	500-1000	1000-2000	>2000
	Classificação		1	2	3	4	5
	Tráfego 0.2	Velocidade máxima (Km/h) 0.5	50-60	60-70	70-90	90-100	100-120
		Classificação	1	2	3	4	5
		Tráfego médio diário (TMD) 0.5	<18000	1800-1900	1900-2000	2000-2200	>22000
		Classificação	1	2	3	4	5
Proteção 0.1	Proteção Superficial 0.8		<25%	[25%-50%[	50%	]50%-75%]	]75%-100%]
	Classificação		5	4	3	2	1
	Cobertura vegetal 0.2		Não existe	Pontual	Uniforme	-	-
	Classificação		5	4-3	1-2	-	-
Imediações 0.09	Sobrecarga 0.6		Sim	Não	-	-	-
	Classificação		5	1	-	-	-
	Vibrações nas proximidades 0.4		Sim	Não	-	-	-
	Classificação		5	1	-	-	-

7 SOLUÇÕES DE PROTEÇÃO OU DE ESTABILIZAÇÃO

De acordo com a instabilidade identificada e com o resultado obtido na avaliação de segurança deve realizar-se um estudo pormenorizado, de modo a conceber e a dimensionar a solução de proteção ou de estabilização que melhor se adequa ao problema referenciado. Associado a uma instabilidade existe um risco inerente, daí a execução das medidas de proteção ou de estabilização.

7.1 SANEAMENTO DE ELEMENTOS

As potenciais superfícies de deslizamento e os blocos potencialmente instáveis são, normalmente, visíveis. O saneamento dos blocos do talude (Figura 7.1) é uma solução a estudar, nos casos em que esta ação não provoque a instabilidade de outros blocos. Quando os blocos apresentam elevadas dimensões, e devido à dificuldade dos trabalhos, poderá optar-se por fragmentá-los com recurso a pequenos explosivos ou a outros métodos que não coloquem em causa a segurança dos trabalhadores, bem como a integridade da periferia dos blocos.



Figura 7.1 - Utilização do martelo hidráulico para remoção de blocos de rocha do talude (Highland & Bobrowsky, 2008).

7.2 REALIZAÇÃO DE BANQUETAS

O recurso a este tipo de solução consiste na introdução de plataformas em pontos intermédios dos taludes (Figura 7.2), permitindo a sua manutenção, melhoramento do sistema de drenagem e a retenção de fragmentos rochosos provenientes de cotas superiores.

A realização de banquetas deve ser equacionada antes da “construção” do talude, dado que posteriormente à sua execução tornar-se-á mais difícil.

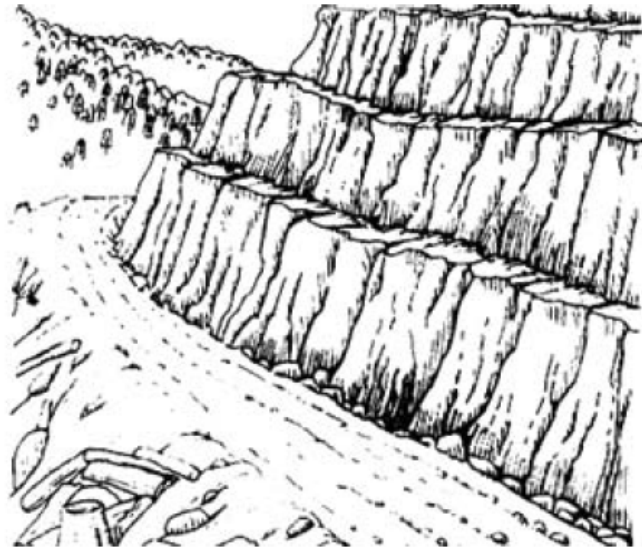


Figura 7.2 - Desenho esquemático de banquetas (Highland & Bobrowsky, 2008).

7.3 INJEÇÕES EM MACIÇOS ROCHOSOS

A injeção em maciços rochosos tem como finalidade a consolidação ou a impermeabilização. Este método é frequentemente utilizado para consolidar materiais soltos, de modo a evitar possíveis desabamentos, desprendimentos, etc. (Pinotti & Carneiro, 2013).

No caso de rochas fraturadas, a injeção (realizada normalmente sob pressão) consiste em introduzir um produto líquido, suscetível de endurecer com o tempo. Este produto denomina-se como calda de injeção, tendo características diferentes, de acordo com o objetivo pretendido. As caldas de injeção normalmente utilizadas são formadas por uma mistura fluida de água e cimento, à qual se pode adicionar areia ou outros produtos com diferentes propriedades.

7.4 MUROS E BARREIRAS RÍGIDAS

Os muros de suporte podem ser instalados no pé dos taludes de modo a incrementar o respetivo nível de segurança. Podem também ser instalados de modo a reterem detritos oriundos de cotas superiores do talude adjacente, estando associados, neste caso, a um espaço no respetivo tardo que permita encaixar um certo volume deste material que vai caindo. Neste caso assume importância a manutenção periódica desta estrutura de suporte, de modo a que no seu tardo haja sempre um espaço livre para a retenção dos detritos. Por vezes, os muros são substituídos, nesta função, por

barreiras rígidas, materializadas por um conjunto de perfis metálicos verticais, selados no terreno junto ao pé do talude, entre os quais se instala uma rede de aço que, frequentemente, é materializada, de forma simplificada, por uma malha sol.

Para a execução de muros são necessárias diversas considerações ao nível da segurança, dado que para a sua execução são realizadas, por vezes, escavações ao nível do pé do talude, podendo conduzir à instabilidade até que a sua construção esteja concluída.

O estudo do local da construção do muro também requer especial atenção. Se a linha de rotura (escorregamento) não for corretamente analisada, o deslizamento pode ocorrer pela parte superior ou inferior deste elemento.

Os muros podem assumir diferentes tipologias, das quais se destacam as seguintes:

- muros de alvenaria de pedra;
- muros de gabiões;
- muros de betão:
 - ciclópico;
 - armado.

Na Figura 7.3 ilustra-se um muro de gabiões.



Figura 7.3 - Muro de gabiões (www.geradordeprecos.info).

7.5 ANCORAGENS

A utilização de ancoragens pré-esforçadas é uma das medidas de natureza estrutural mais frequentemente utilizada. Este sistema estrutural resume-se à introdução de um elemento resistente, geralmente um conjunto de cabos de aço, por meio de uma perfuração no maciço natural, com o objetivo de conter deformações ou deslocamentos do maciço (Figura 7.4) (Pinotti & Carneiro, 2013).

São elementos que estão sujeitos à tração e colaboram para a estabilidade do talude de duas formas:

- Proporcionam uma força contrária ao movimento da massa deslizante;
- Provocam um aumento das tensões normais na superfície de rotura, o que origina um acréscimo de resistência ao deslizamento na dita superfície (Instituto Tecnológico Geominero de Espanã, 1987).

Este elemento estrutural requer alguns cuidados, sendo necessário um sistema de proteção contra a corrosão bem estudado.

Inerente à utilização de ancoragens pré-esforçadas estão associados muros de betão armado na face do talude (extremidade exterior da ancoragem). Este muro tem como função distribuir a carga concentrada aplicada pela ancoragem. Relativamente à extremidade oposta, situada no interior do talude (o bolbo de selagem), está solidarizada ao terreno através da injeção de caldas de cimento.

A Figura 7.4 e a Figura 7.5 ilustram, respetivamente, os constituintes de uma ancoragem e o pormenor da cabeça de ancoragem.

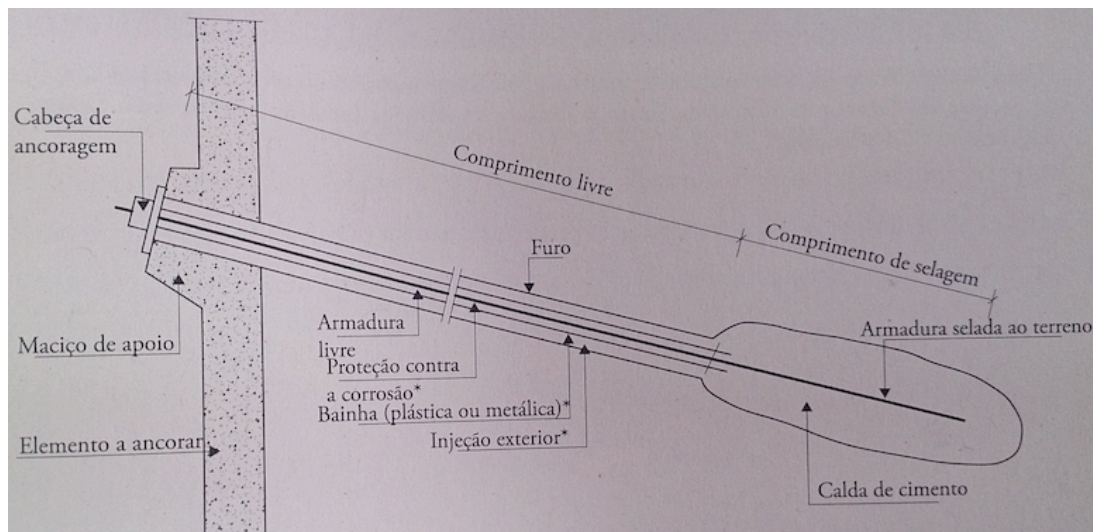


Figura 7.4 - Ancoragem pré-esforçada definitiva em solos para estabilização natural (adaptado por Fernandes, 2011).

* - Estes elementos dependem do tipo de ancoragem.



Figura 7.5 - Cabeça de ancoragem instrumentada com célula dinamométrica (Fernandes, 2011).

7.6 PREGAGENS

As pregagens, em maciços rochosos, são usualmente utilizadas para a estabilização de taludes e no suporte de escavações subterrâneas.

As características das pregagens a adotar dependem do cenário geológico-geotécnico local, das propriedades mecânicas do maciço, das condições das estruturas vizinhas e do ponto de vista económico.

As pregagens, normalmente, são colocadas por níveis e com um ângulo de inclinação de 5° a 20° abaixo da horizontal, de modo a facilitar a selagem gravítica ou a injeção sob baixa pressão da calda de cimento. O espaçamento entre pregagens é variável; no entanto, segundo Clouterre (1991) e Phear et al. (2005), deve ser colocada uma pregagem por cada 6 m² de superfície.

De acordo com o comportamento dos maciços rochosos, esta solução poderá ser combinada com diversos elementos de proteção ou de estabilização, por exemplo, com redes metálicas de alta resistência (Figura 7.6 e Figura 7.7).



Figura 7.6 - Pormenor da cabeça de uma pregagem aplicada num talude rochoso.



Figura 7.7 – Utilização, simultânea, de rede metálica de alta resistência e pregagens.

7.7 VALAS DE RETENÇÃO

As valas de retenção são consideradas valas de captura, uma vez que têm como função reter rochas em queda.

Estas valas são dimensionadas tendo em consideração a geometria do talude. O fundo da vala deve ser coberto com terra solta para evitar que as rochas saltem ou se quebrem em pedaços fragmentados (Highland & Bobrowsky, 2008).

7.8 REDES DE AÇO

A colocação de redes de aço tem como finalidade conter os blocos rochosos ou conduzi-los durante a sua queda, encaminhando-os para a vala de pé de talude, protegendo, deste modo, habitações, infraestruturas rodoviárias, infraestruturas ferroviárias e, conseqüentemente, a vida humana.

Podem distinguir-se dois tipos de redes:

- redes de cabos de aço;
- redes de malha de arame.

A escolha entre um destes tipos de redes prende-se com o efeito que cada uma surte no talude, ou seja, a rede de malha de arame tem capacidades resistentes inferiores às redes de cabo de aço, pelo que, normalmente, é utilizada quando os blocos rochosos apresentam dimensões inferiores. Outro fator preponderante na escolha da rede a adotar é o custo. A instalação de redes formadas por cabos de aço apresentam custos mais elevados comparativamente às redes de malha de arame.

Em muitas ocasiões opta-se pela colocação dos dois tipos de redes, em simultâneo. Rede de malha de arame com cabos de aço na direção longitudinal e transversal, aumentando a capacidade resistente do sistema de proteção (Figura 7.8).

Estes tipos de rede são ancorados ao terreno através de cabos.



Figura 7.8 – Utilização, em simultâneo, dos dois tipos de redes.

A Figura 7.9 ilustra um alçado esquemático de uma barreira metálica com todos os seus constituintes.

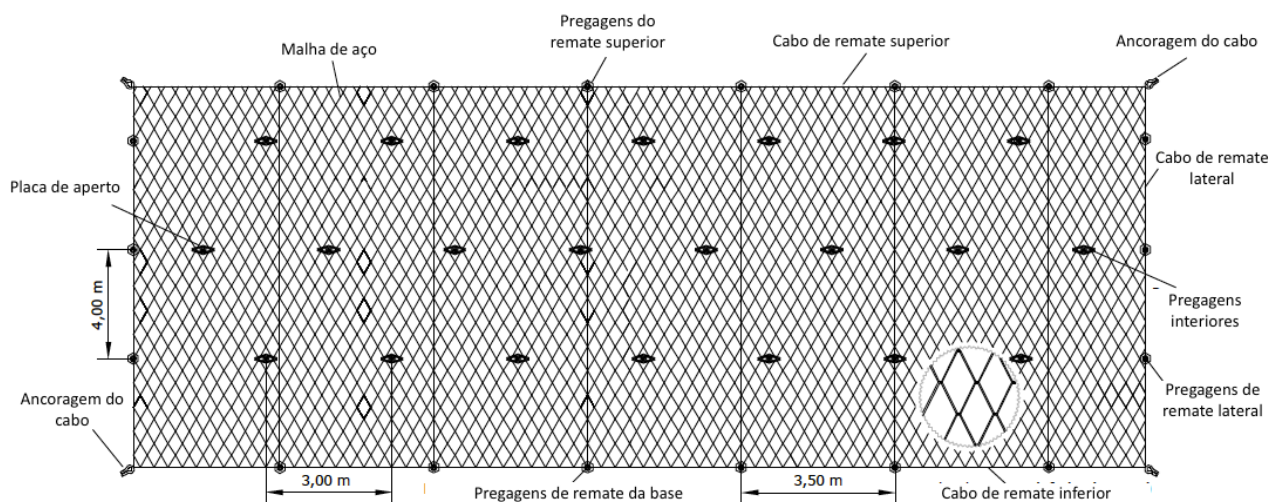


Figura 7.9 - Alçado esquemático de uma barreira metálica com todos os elementos necessários para a sua utilização (Fonte: “Geobrugg”).

7.9 BARREIRAS FLEXÍVEIS

As barreiras flexíveis são constituídas por redes e malhas de aço presas a cabos longitudinais, sendo estes, por sua vez, ligados a postes estruturais instalados em sentido perpendicular ao maciço. Os postes podem conter apoios rotulados na base e cabos colocados na parte superior, presos ao talude a montante. Uma vez que a malha de aço é maleável, absorve o impactos dos blocos rochosos, acomodando-os, podendo, de acordo com o tipo de barreira utilizado, suportar até 8000 kJ de energia.

A Figura 7.10 e a Figura 7.11 ilustram barreiras flexíveis.



Figura 7.10 – Barreira flexível (www.metalwiremesh.net).



Figura 7.11 - Barreira flexível do tipo “GBE” da “Geobrugg” (www.geobrugg.com).

7.10 DRENAGEM

A água pode provocar diversos fenómenos de instabilização em taludes, uma vez que aumenta o peso específico do material, introduz pressões intersticiais, remove camadas superficiais, entre outros efeitos. Deste modo, e para que a estabilidade dos taludes não seja colocada em causa, deve ser realizado o correto encaminhamento das águas superficiais (Figura 7.12) e subterrâneas, provenientes de precipitações.

No que se refere à água existente no interior dos taludes, a mesma poderá ser recolhida através de drenos. Os drenos podem ser de dois tipos: de subsuperfície, para drenar a água que se encontra logo atrás da superfície do talude, e drenos profundos, para que a água do interior do maciço possa escoar para fora do mesmo (Figura 7.13).



Figura 7.12 - Encaminhamento da água superficial num talude.

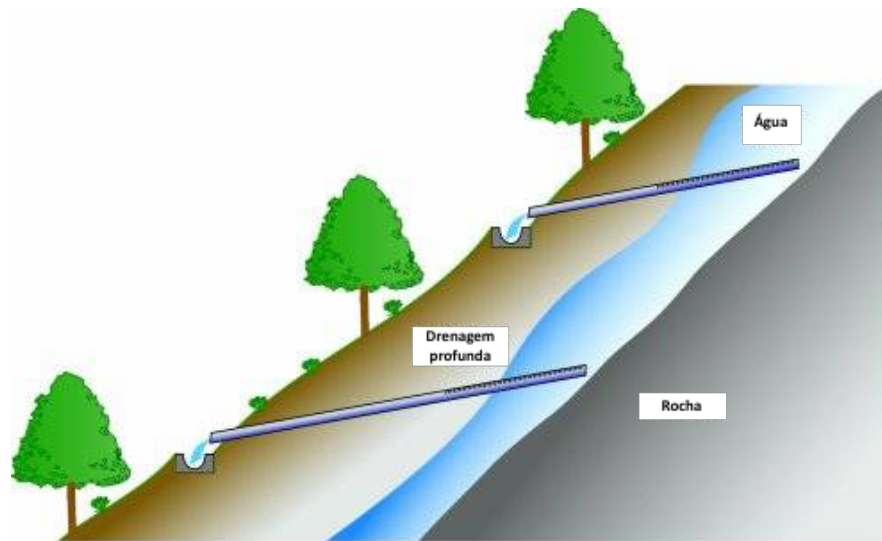


Figura 7.13 – Esquema de drenagem profunda (www.iitbhu.ac.in/faculty).

7.11 VEGETAÇÃO

A vegetação, quando corretamente utilizada, pode revelar-se um fator determinante no processo de estabilização de taludes. A absorção de água pelas plantas facilita a drenagem e as suas raízes podem aumentar até 2,5 vezes a resistência ao corte na zona do solo em que se encontram. Tem, ainda, como função proteger a superfície do solo da erosão.

Como anteriormente referenciado, o recurso à vegetação requer uma correta avaliação da sua aplicação, uma vez que as raízes das árvores podem provocar grandes desagregações em ambientes rochosos, sendo necessário, por vezes, proceder à desvitalização de espécies arbustivas e arbóreas.

8 CASO DE ESTUDO: VERTENTES ROCHOSAS DE S. SIMÃO

8.1 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO DO CONCELHO DE AMARANTE

Amarante é uma cidade pertencente ao distrito do Porto, localizada na região norte do país e na sub-região do Tâmega.

A razão da designação de Amarante tem 2 versões. A primeira consta que este concelho antigamente se denominava por “Villa Amaranthi”, que pode ser traduzido em “Quinta de Amaranto”. Amaranto terá sido um chefe romano. A segunda versão refere que Amarante deriva de “Admaranus”, que se traduz em “junto ao Marão”.

Em tempos não muito longínquos, o concelho de Amarante pertencia, administrativamente, à província do Minho, fazendo fronteira com os concelhos de Celorico de Basto (N), Gestaço (E), Gouveia (S) e Santa Cruz de Ribatâmega (O). Com as reformas administrativas liberais do séc. XIX desapareceram os municípios de Gouveia e Santa Cruz de Ribatâmega, tendo o de Amarante recebido a maioria das suas freguesias. Desde então, o concelho estende-se por uma área de 301,5 quilómetros quadrados, composta por 26 freguesias (Ansiães; Candemil; Fregim; Fridão; Gondar; Gouveia (S. Simão); Jazente; Lomba; Louredo; Lufrei; Mancelos; Padronelo; Rebordelo; Salvador do Monte; Telões; Travanca; Vila Caiz; Vila Chã do Marão; União das freguesias de Aboadela, Sanche e Várzea; União das freguesias de Amarante (S. Gonçalo), Madalena, Cepelos e Gatão; União das freguesias de Bustelo, Carneiro e Carvalho de Rei; União das freguesias de Figueiró (Santiago e Santa Cristina); União das freguesias de Freixo de Cima e Baixo; União das freguesias de Olo e Canadelo; União das freguesias de Real, Ataíde e Oliveira e União das freguesias de Vila Garcia, Aboim e Chapa) e com uma população de 56450 habitantes.

O concelho de Amarante é atravessado pelo Rio Tâmega e 80% da sua superfície está abaixo dos 600 metros de altitude; no entanto, Amarante está localizada numa das maiores serras de Portugal, a do Marão, que tem cumes que atingem os 1415 metros, e ainda a Serra da Aboboreira.

Amarante caracteriza-se pela sua paisagem verdejante, com abundância de cursos de água que fertilizam os solos, considerados de boa qualidade para a agricultura, sendo uma das atividades económicas com maior relevância no concelho, destacando-se a produção de vinhos verdes.

Outros sectores com elevada importância são a construção civil, a transformação de madeiras, a pecuária, a silvicultura, a hotelaria e a metalomecânica.

Este concelho deve a sua origem aos povos primitivos que demandaram a Serra da Aboboreira (habitada desde a Idade da Pedra).

O aumento da visibilidade deste concelho deveu-se, em grande parte, à chegada de São Gonçalo (1187-1259). Nascido em Guimarães, fixou-se em Amarante após peregrinar por Roma e Jerusalém. A construção da antiga ponte de alvenaria de pedra sobre o Rio Tâmega atribui-se a este Santo. Esta ponte sofreu uma enorme derrocada, devido a cheias, em 1763. Posteriormente, foi reconstruída com o aspeto robusto que ainda hoje apresenta.

Devido a São Gonçalo, Amarante tornou-se num local de peregrinação e a sua população começou a crescer.

Durante o Século XVI, D. João III ordenou a construção do Mosteiro de São Gonçalo, sobre a capela junto à ponte sobre o Rio Tâmega (Figura 8.1), onde se consta que São Gonçalo esteja sepultado.



Figura 8.1 – Ponte sobre o Rio Tâmega e Mosteiro de S. Gonçalo (Vieira, 1887).

No início do século XIX, Napoleão Bonaparte e as suas tropas tentam invadir Portugal, e por Amarante passaram também essas invasões. Ficou o registo de um ato heróico que valeu ao General Silveira o título de Conde de Amarante, e a própria Vila, na altura, teve o privilégio de ser condecorada com o colar da Ordem Militar da Torre e Espada, do Valor, Lealdade e Mérito que reflete no seu brasão municipal. A este ato heróico deve-se a defesa da ponte de Amarante.

Após as invasões, foram realizados planos para a reconstrução da Vila que foi bastante castigada pelas batalhas que ali ocorreram.

Devido a ilustres Amarantinos como Teixeira de Pascoaes (escritor e poeta) e Amadeu de Souza-Cardoso (pintor) houve um grande desenvolvimento cultural no século XX.

Amarante obteve o estatuto de cidade a 8 de Julho de 1985, sendo também a data do feriado Municipal.

Na Figura 8.2 situa-se o concelho de Amarante no território nacional.

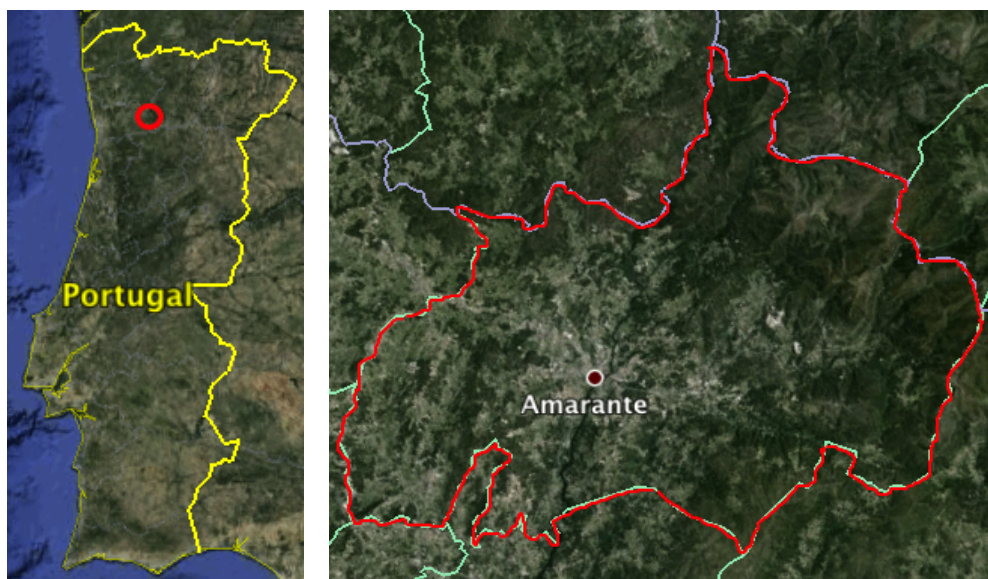


Figura 8.2 - Portugal continental: localização do concelho de Amarante (Google Earth).

8.2 LOCALIZAÇÃO DA VERTENTE

Amarante é um concelho de elevada dimensão, em que as características litológicas e as intervenções humanas ditaram a existência de um conjunto significativo de situações de instabilização de taludes que importa tratar.

A vertente, alvo de estudo (Figura 8.3), situa-se na freguesia de S. Simão (Figura 8.4), mais propriamente no Lugar do Casal. Trata-se de uma vertente com uma inclinação acentuada, contendo na sua crista um conjunto de afloramentos rochosos que terão sido, há décadas, objeto de exploração (Figura 8.5).



Figura 8.3 - Localização da vertente rochosa de S. Simão. Vista da Rua do Ribeiro.

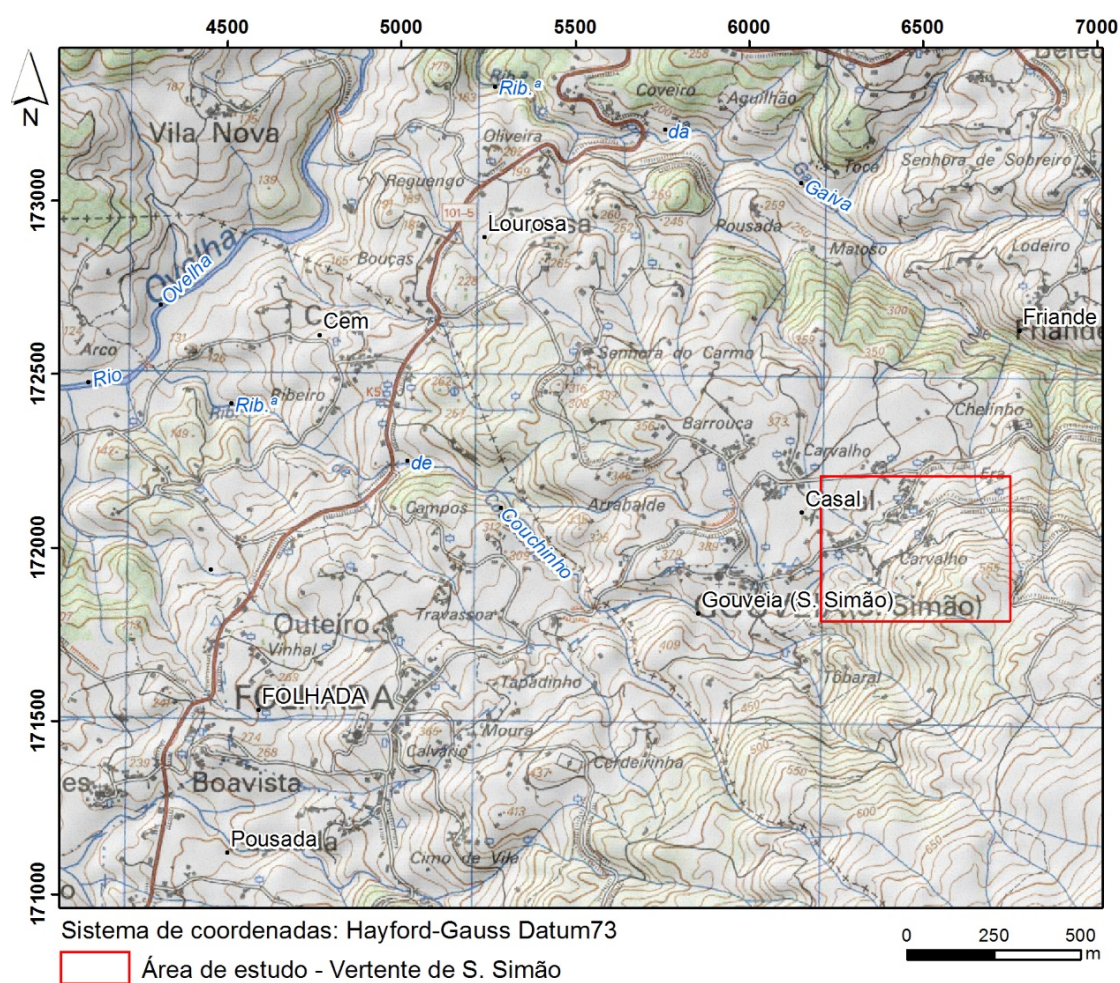


Figura 8.4 – Localização geográfica da área de S. Simão.



Figura 8.5 - Afloramentos rochosos presentes na vertente de S. Simão.

8.3 DECLIVE DA VERTENTE

Na vertente de S. Simão são visíveis declives acentuados, em alguns casos, superiores a 40%; no entanto, a NW observam-se declives menos acentuados, na ordem dos 5-10%.

É uma área com declive acentuado o que não permite a instalação de atividades antrópicas, contrastando com a área aplanada a NW, na qual se pode observar a presença das populações.

Na Figura 8.6 apresenta-se o mapa de declives da área de S. Simão.

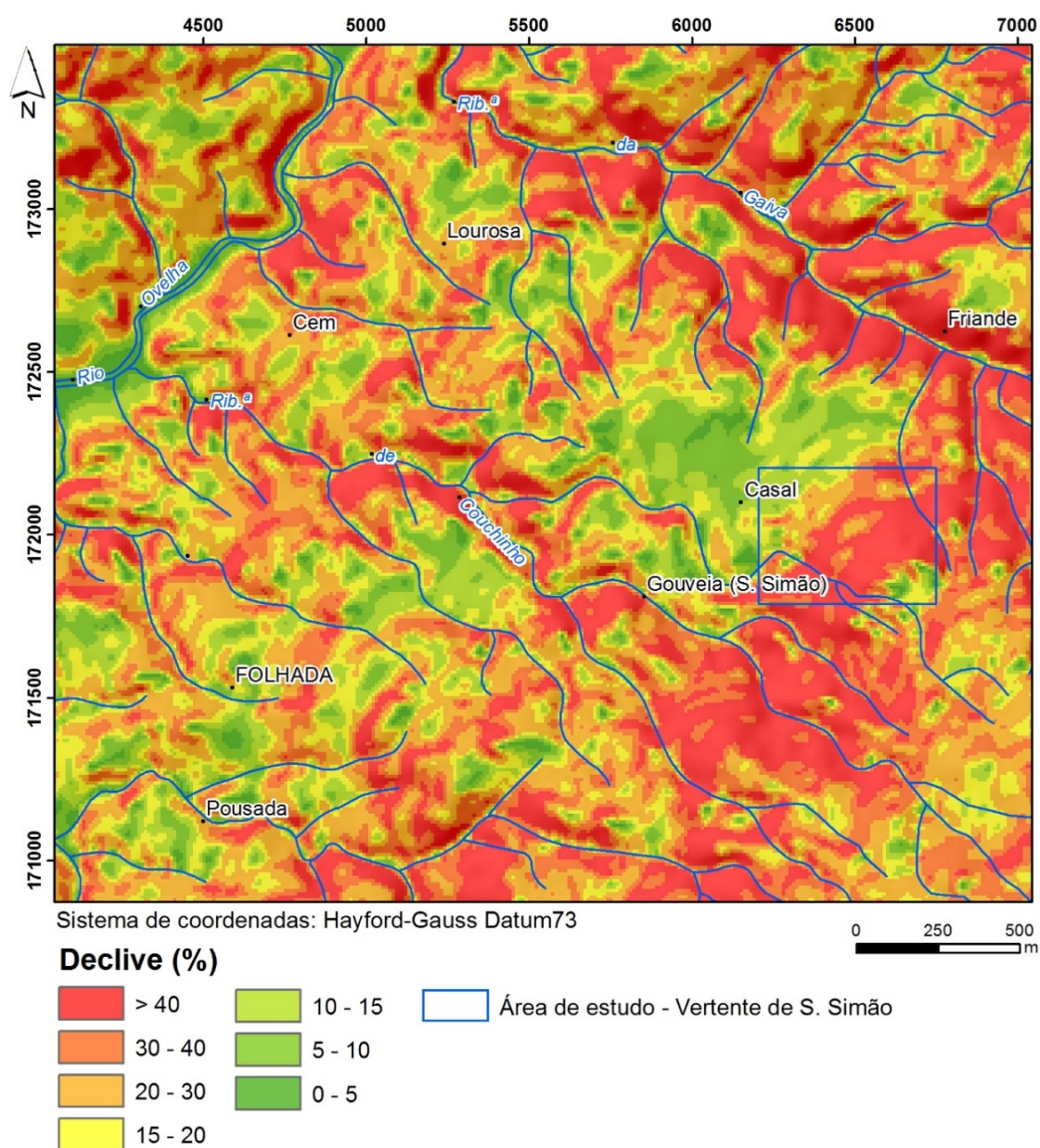


Figura 8.6 – Mapa de declives da área de S. Simão.

8.4 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

A área de S. Simão enquadra-se, em termos geológico regionais, numa grande mancha granítica, que se estende desde Penafiel a Amarante, e desde Lousada e Resende. Esta corresponde a um maciço orientado de forma alongada com direção NW-SE e possui texturas mais ou menos orientadas, em que a foliação é marcada por megacristais de feldspato potássico e/ou pela biotite (Teixeira et al., 1967; Pereira et al., 1989), Figura 8.7.

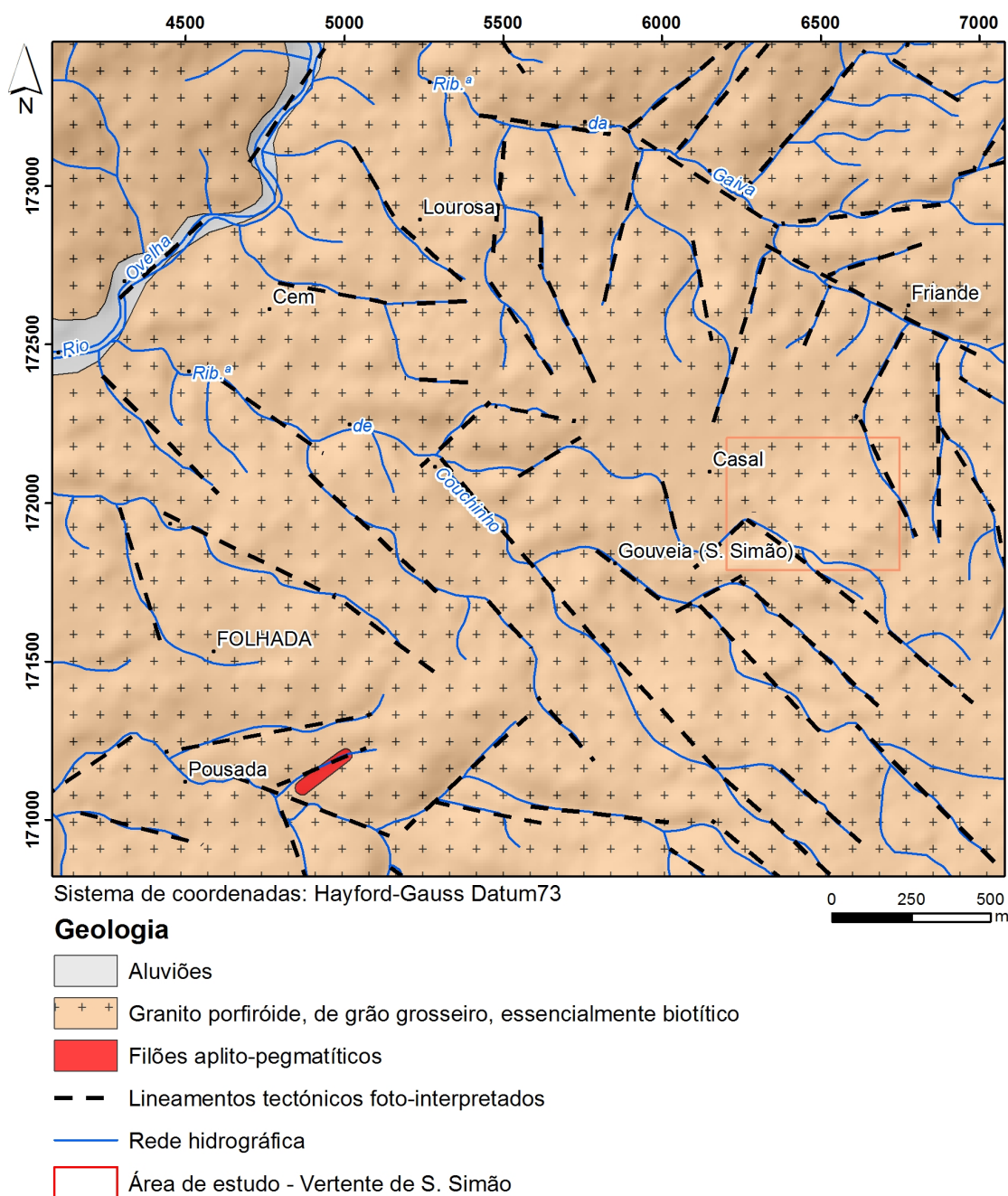
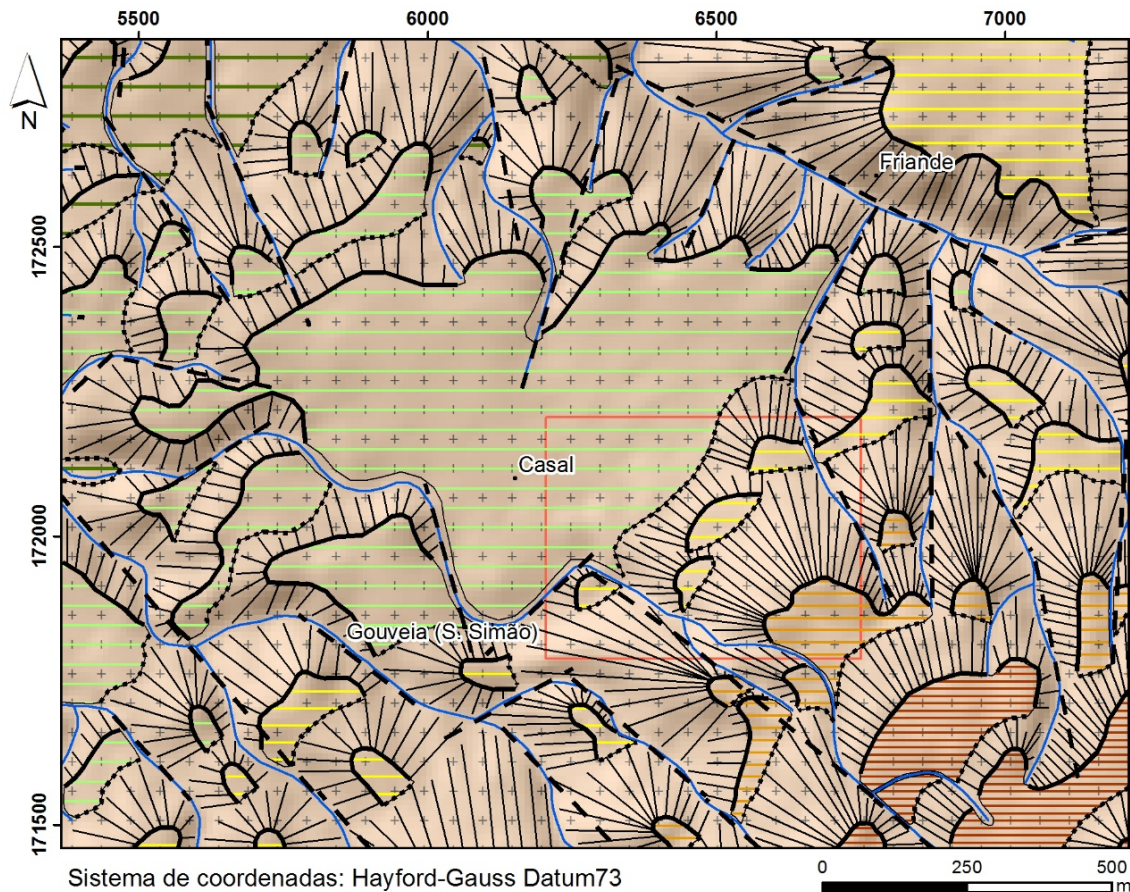


Figura 8.7 - Enquadramento geológico da área de Gouveia (S. Simão), Amarante (revisto e atualizado de Teixeira et al., 1967).

Esta unidade geológica do granito porfiróide de grão grosseiro domina praticamente toda a área de estudo, apenas sendo interrompida por um pequeno filão aplito-pegmatítico e por uma pequena mancha de aluviões, no fundo do vale do rio Ovelha. Caracteriza-se por ter horizontes de alteração em geral muito espessos, que podem atingir por vezes os 15 a 20 m, sendo constituído por materiais arenosos (resultantes da meteorização mecânica, por desagregação do quartzo) e argilosos (resultantes sobretudo da alteração meteórica dos feldspatos).

A morfologia da área de S. Simão é dominada pela geometria dos lineamentos tectónicos que serão os principais responsáveis pelo arranjo regional do relevo nesta área. Destaca-se um conjunto de estruturas geológicas com direções NE-SW e NW-SE, que individualizam uma série de blocos aplanados, escalonados a diferentes altitudes. Na área de S. Simão (Figura 8.8) merecem ainda destaque, em termos morfológicos, a continuidade das vertentes, bem como o seu declive.



Geomorfologia

- Topo
- Base
- Vertente

Áreas aplanadas

- < 300 m
- 300 - 400 m
- 400 - 500 m
- 500 - 600 m
- > 600 m

Geologia

- Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico
- Lineamentos tectónicos foto-interpretados
- Rede hidrográfica
- Área de estudo - Vertente de S. Simão

Figura 8.8 - Geomorfologia da área de Gouveia (S. Simão), Amarante.

Na área de estudo (Vertente de S. Simão) verifica-se a existência de vertentes abruptas, que ligam superfícies aplanadas, com diferenças de cota superiores a 500 metros entre si. Além deste aspeto, a grande área aplanada, com cotas entre 300 e 400 metros surge separada de uma outra, a NE, com cotas entre 400 e 500 metros, separação esta feita por um lineamento de direção aproximada WNW-ESE, o que sugere que este pode corresponder a uma falha regional, com componente de movimentação vertical, que terá desnivelado os dois blocos em questão (Figura 8.8).

8.5 SISMICIDADE

De acordo com a NP EN 1998-1 (Eurocódigo 8), documento que estabelece regras para a quantificação da ação sísmica e regras gerais de projeto, é necessário que alguns critérios sejam verificados e cumpridos. Embora mais vocacionado para edifícios e para outras obras de engenharia civil, entende-se pertinente aqui a sua reprodução, porque os conceitos subjacentes assumem significativa importância no desenvolvimento do presente trabalho.

8.5.1 Requisitos de desempenho e critérios de conformidade

- **Requisitos fundamentais**
 - **Requisito de não ocorrência de colapso:** A estrutura deve ser projetada e construída de forma a resistir à ação sísmica de cálculo sem colapso local ou global, mantendo assim a sua integridade estrutural e uma capacidade resistente residual depois do sismo.
 - **Requisito de limitação de danos:** A estrutura deve ser projetada e construída de forma a resistir a uma ação sísmica cuja probabilidade de ocorrência seja maior do que a da ação sísmica de cálculo, sem a ocorrência de danos e de limitações de utilização, cujos custos sejam desproporcionadamente elevados em comparação com os da própria estrutura
- **Critérios de conformidade**
 - **Estado limite último:** Deve verificar-se que o sistema estrutural tem a resistência e a capacidade de dissipação de energia especificadas nas partes relevantes da EN 1998.

- **Estado de limitação de danos:** No caso de estruturas importantes para a proteção civil, deve verificar-se que o sistema estrutural possui uma resistência e uma rigidez suficientes para manter em funcionamento os serviços vitais nelas instalados no caso da ocorrência de um evento sísmico associado a um período de retorno adequado.

8.5.2 Identificação dos tipos de terreno

Os terrenos dos tipos A, B, C, D e E, descritos por perfis estratigráficos e pelos parâmetros apresentados no Quadro 8.1, poderão ser utilizados para ter em conta a influência das condições locais do terreno na ação sísmica. Nesta influência poderá também ser tomada em conta a influência da geologia profunda na ação sísmica.

Apresentam-se, no Quadro 8.1, os diferentes tipos de terrenos caracterizados na NP EN 1998-1, assinalando-se o correspondente ao caso de estudo.

Quadro 8.1 - Tipos de terreno (NP EN 1998-1).

Tipo de terreno	Descrição do perfil estratigráfico	Parâmetros		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (pavadas/30 cm)	c_u (kPa)
A	Rocha ou outra formação geológica de tipo rochoso, que inclua, no máximo, 5 m de material mais fraco à superfície	> 800	–	–
B	Depósitos de areia muito compacta, de seixo (cascalho) ou de argila muito rijas, com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas com a profundidade	360 – 800	> 50	> 250
C	Depósitos profundos de areia compacta ou medianamente compacta, de seixo (cascalho) ou de argila rija com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Depósitos de solos não coesivos de compactidade baixa a média (com ou sem alguns estratos de solos coesivos moles), ou de solos predominantemente coesivos de consistência mole a dura	< 180	< 15	< 70
E	Perfil de solo com um estrato aluvionar superficial com valores de v_s do tipo C ou D e uma espessura entre cerca de 5 m e 20 m, situado sobre um estrato mais rígido com $v_s > 800$ m/s			
S_1	Depósitos constituídos ou contendo um estrato com pelo menos 10 m de espessura de argilas ou siltes moles com um elevado índice de plasticidade ($PI > 40$) e um elevado teor em água	< 100 (indicativo)	–	10 - 20
S_2	Depósitos de solos com potencial de liquefação, de argilas sensíveis ou qualquer outro perfil de terreno não incluído nos tipos A – E ou S_1			

Nota: O terreno deverá ser classificado de acordo com o valor da velocidade média das ondas de corte, $v_{s,30}$, se disponível. Caso contrário, deverá utilizar-se o valor de N_{spt} .

Para os locais cujas condições do terreno correspondem a um dos dois tipos de terreno especiais, S_1 ou S_2 , são necessários estudos especiais para a definição da ação sísmica. Para estes tipos, e em particular para o tipo S_2 , deve considerar-se a possibilidade de rotura do terreno sob a ação sísmica.

8.5.3 Tipos de ação sísmica e zonas sísmicas

Em Portugal Continental há necessidade de se considerar dois tipos de ação sísmica, devido ao facto de existirem dois cenários de geração de sismos que podem afetar o país:

- Ação sísmica Tipo 1: Sismo afastado (epicentro na região Atlântica);
- Ação sísmica Tipo 2: Sismo próximo (epicentro no território continental).

Na Figura 8.9 apresenta-se a subdivisão do território nacional continental em zonas, de acordo com os valores da aceleração máxima de referência para os dois tipos de ação sísmicas, assinalando-se as zonas em que se enquadra a vertente em estudo.

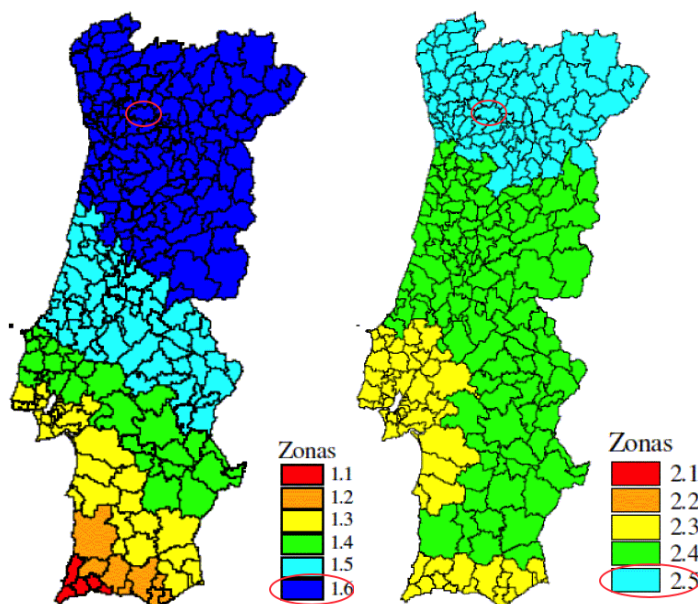


Figura 8.9 - Zonamento sísmico em Portugal continental: ação sísmica tipo 1 e ação sísmica tipo 2
(www.ualg.pt).

Nota: Em Portugal continental, as zonas 2.1 e 2.2 não têm correspondência no território nacional, apenas se verificando no Arquipélago dos Açores.

Em Portugal os valores da aceleração máxima de referência (a_{gR}) para as várias zonas sísmicas e para os dois tipos de ação sísmica a considerar são os indicados no Quadro 8.2. Sinalizaram-se os valores de referência relativos ao local em estudo.

Quadro 8.2 - Aceleração máxima de referência a_{gR} (m/s^2) nas várias zonas sísmicas (NP EN 1998-1).

Ação sísmica Tipo 1		Ação sísmica Tipo 2	
Zona Sísmica	a_{gR} (m/s^2)	Zona Sísmica	a_{gR} (m/s^2)
1.1	2,5	2.1	2,5
1.2	2,0	2.2	2,0
1.3	1,5	2.3	1,7
1.4	1,0	2.4	1,1
1.5	0,6	2.5	0,8
1.6	0,35	–	–

Posteriormente à definição do zonamento sísmico, deve classificar-se a importância do edifício em função das consequências do colapso provenientes da ação sísmica (Quadro 8.3).

Quadro 8.3 – Classes de importância para os edifícios (NP EN 1998-1).

Classe de importância	Edifícios
I	Edifícios de importância menor para a segurança pública, como por exemplo edifícios agrícolas, etc.
II	Edifícios correntes, não pertencentes às outras categorias.
III	Edifícios cuja resistência sísmica é importante tendo em vista as consequências associadas ao colapso, como por exemplo escolas, salas de reunião, instituições culturais, etc.
IV	Edifícios cuja integridade em caso de sismo é de importância vital para a proteção civil, como por exemplo hospitais, quartéis de bombeiros, centrais elétricas, etc.

De acordo com a classe de importância do edifício, atribuem-se coeficientes de importância, γ_I , apresentados no Quadro 8.4.

Quadro 8.4 – Coeficientes de importância, γ_I (NP EN 1998-1).

Coeficientes de importância			
Classe de importância	Ação sísmica Tipo 1	Ação sísmica Tipo 2	
		Continente	Açores
I	0,65	0,75	0,85
II	1	1	1
III	1,45	1,25	1,15
IV	1,95	1,5	1,35

Na análise da estabilidade de taludes e de blocos rochosos potencialmente instáveis deverá ser considerada a ação sísmica, admitindo os coeficientes sísmicos horizontais e verticais que o Eurocódigo 8 indica.

O coeficiente sísmico horizontal é obtido através da expressão 8.1:

$$k_h = 0,5 \left(\frac{a_g}{g} \right) S S_T \quad (8.1)$$

em que:

- a_g representa o valor de cálculo da aceleração sísmica (horizontal) num terreno tipo A, e que resulta do produto da aceleração máxima de referência a_{gR} nas várias zonas sísmicas (Quadro 8.2), pelo coeficiente de importância, γ_I (Quadro 8.4).
- g é a aceleração da gravidade;
- S é o coeficiente que tem em conta a possível amplificação da aceleração entre o substrato e a superfície. Este coeficiente pode ser obtido de acordo com as seguintes condições (8.2) (Anexo Nacional, NP EN 1998-1: 2010):

$$\begin{aligned}
 &\text{para } a_g \leq 1 \text{ m/s}^2: & S &= S_{max} \\
 &\text{para } 1 \text{ m/s}^2 < a_g < 4 \text{ m/s}^2: & S &= S_{max} - [(S_{max} - 1)(a_g - 1)/3] \\
 &\text{para } 4 \text{ m/s}^2 \leq a_g: & S &= 1,0
 \end{aligned} \quad (8.2)$$

em que S_{max} é dado pelo Quadro 8.5:

Quadro 8.5 – Valores do fator S_{max} do solo de fundação para as ações sísmicas Tipo 1 e Tipo 2 (Anexo Nacional, NP EN 1998-1: 2010).

Tipo de terreno	A	B	C	D	E
S_{max}	1	1,35	1,6	2	1,8

- S_T é o fator de amplificação topográfica, que deve ser aplicado sempre que existam estruturas de coeficiente de importância superior a 1 sobre ou na proximidade de escarpas e elevações extensas de altura superior a 30 m e inclinação superior a 15°. Os valores do fator S_T estão indicados no Quadro 8.6.

Quadro 8.6 - Valores do fator de amplificação topográfica, S_T (adaptado de NP EN 1998-5: 2010).

Condições do talude	S_T
Elevações em que a largura na crista é significativamente inferior à largura na base, com inclinação superior a 30°	$\geq 1,4$
Elevações em que a largura na crista é significativamente inferior à largura na base, com inclinação entre 15° e 30°	$\geq 1,2$
Elevações em que a largura na crista é significativamente inferior à largura na base, com presença de estrato superficial solto e inclinação superior a 30°	$\geq 1,68$
Elevações em que a largura na crista é significativamente inferior à largura na base, com presença de estrato superficial solto e inclinação entre 15° e 30°	$\geq 1,44$

De acordo com o Eurocódigo 8, o coeficiente sísmico vertical é dado pelas expressões 8.3 ou 8.4:

$$k_v = \pm 0,5k_h, \quad \text{se } \frac{a_{vg}}{a_g} > 0,6 \quad (8.3)$$

$$k_v = \pm 0,33k_h, \quad \text{se } \frac{a_{vg}}{a_g} \leq 0,6 \quad (8.4)$$

Uma vez que a relação entre a ação sísmica vertical e a aceleração sísmica horizontal, $\frac{a_{vg}}{a_g}$, para a ação sísmica tipo 1 é de 0,75 e para a ação sísmica tipo 2 é de 0,95, o coeficiente sísmico vertical, no território nacional, é dado pela expressão 8.5:

$$k_v = \pm 0,5k_h \quad (8.5)$$

8.5.4 Registos sísmicos nos arredores de S. Simão

A instabilidade dos blocos na vertente de S. Simão pode estar associada à ação sísmica. Consultando a página da internet do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), é possível verificar que nos meses de Julho e Agosto de 2004 ocorreram 3 sismos, com magnitudes inferiores a 1,1, nos arredores de S. Simão (Figura 8.10):

- no dia 9 de Julho de 2004 ocorreu um sismo, em Mondim de Basto, com magnitude de 0,7;
- no dia 10 de Agosto de 2004 ocorreu um sismo, em Peso da Régua, com magnitude de 0,8;
- no dia 20 de Julho de 2004 ocorreu um sismo, em Ribeira de Pena, com magnitude de 1,1.

Estes registos sísmicos, revelam-se mais um dado importante na justificação da queda do bloco rochoso sobre a garagem da habitação.

Segundo relatos dos moradores, este incidente terá ocorrido no início do mês de Agosto de 2004. A forte precipitação verificada nesse mês, apresentada no item 8.6, aliada à ação sísmica, mesmo que com reduzida intensidade, constituem 2 fatores de importância determinante que se conjugam para a justificação da ocorrência da queda do bloco.

A Figura 8.10 apresenta a compilação de sismos ocorridos na envolvente da área de S. Simão, nos meses de Julho e Agosto de 2004. Estes parecem estar ligados à já referida Falha do Tâmega, no caso dos ocorridos próximo às localidades de Ribeira de Pena e de Mondim de Basto, bem como à Falha Regional Verín-Régua-Penacova, no caso do sismo registado próximo à cidade de Peso da Régua.

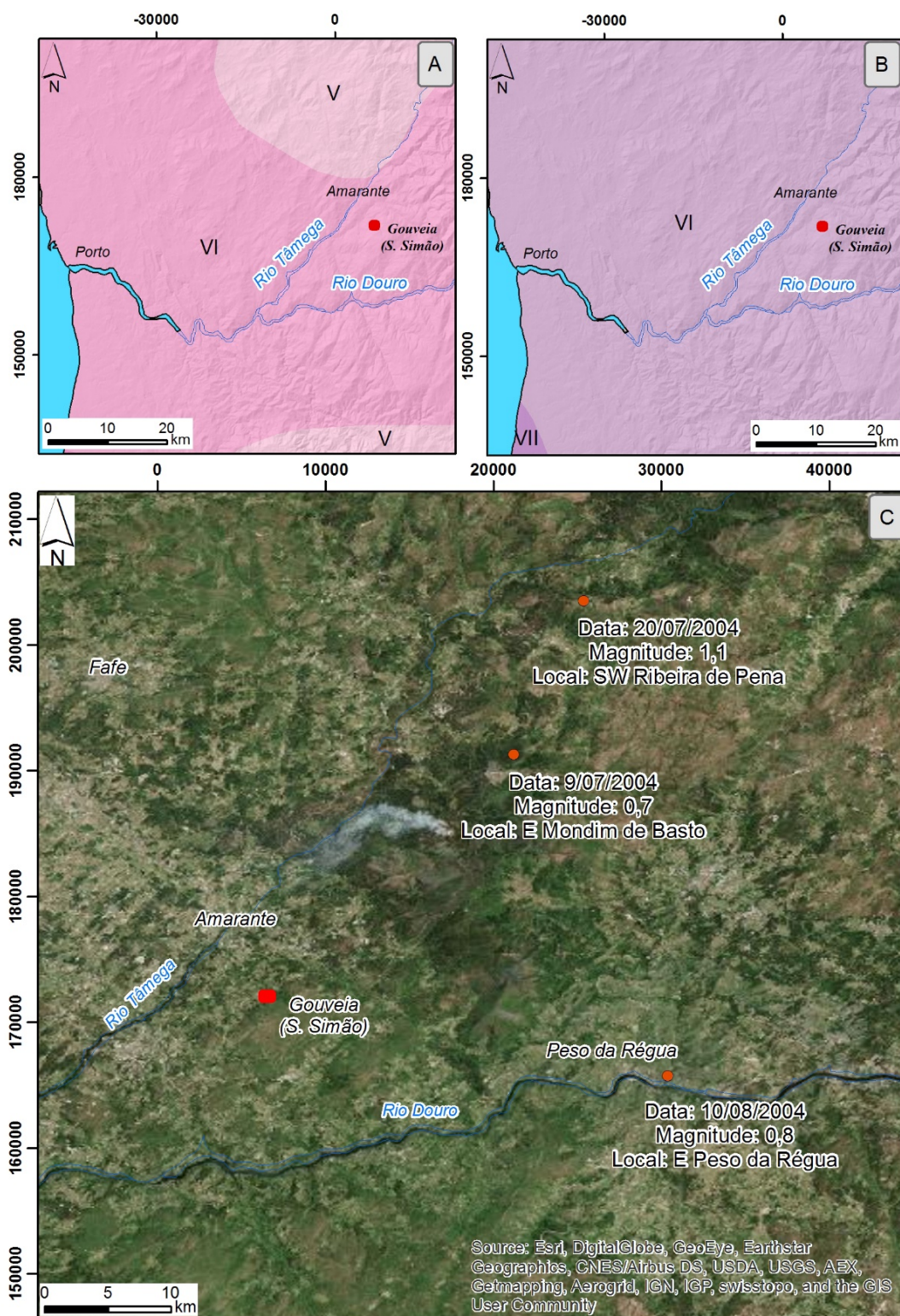


Figura 8.10 - Sismicidade da área de S. Simão: A - zonas de intensidade máxima (escala internacional); B - Isossistas de intensidades máximas, escala de Mercalli Modificada de 1956; C – Sismos ocorridos na região, em Julho e Agosto de 2004 (IPMA).

8.6 DADOS DE PRECIPITAÇÃO

As anomalias em taludes associam-se, frequentemente, à presença de água. A inexistência de drenagem adequada ou o seu mau funcionamento pode provocar inúmeros efeitos instabilizadores.

A recolha dos dados de precipitação no concelho de Amarante reveste-se de importância determinante, para a avaliação de uma eventual relação entre este fator e a queda do bloco.

O Quadro 8.7, Quadro 8.8 e o Quadro 8.9 apresentam a precipitação no concelho de Amarante de 2002/2003 a 2004/2005 e o Gráfico 1 apresenta a variação da precipitação, do mês de Agosto, de 2001/2002 a 2011/2012.

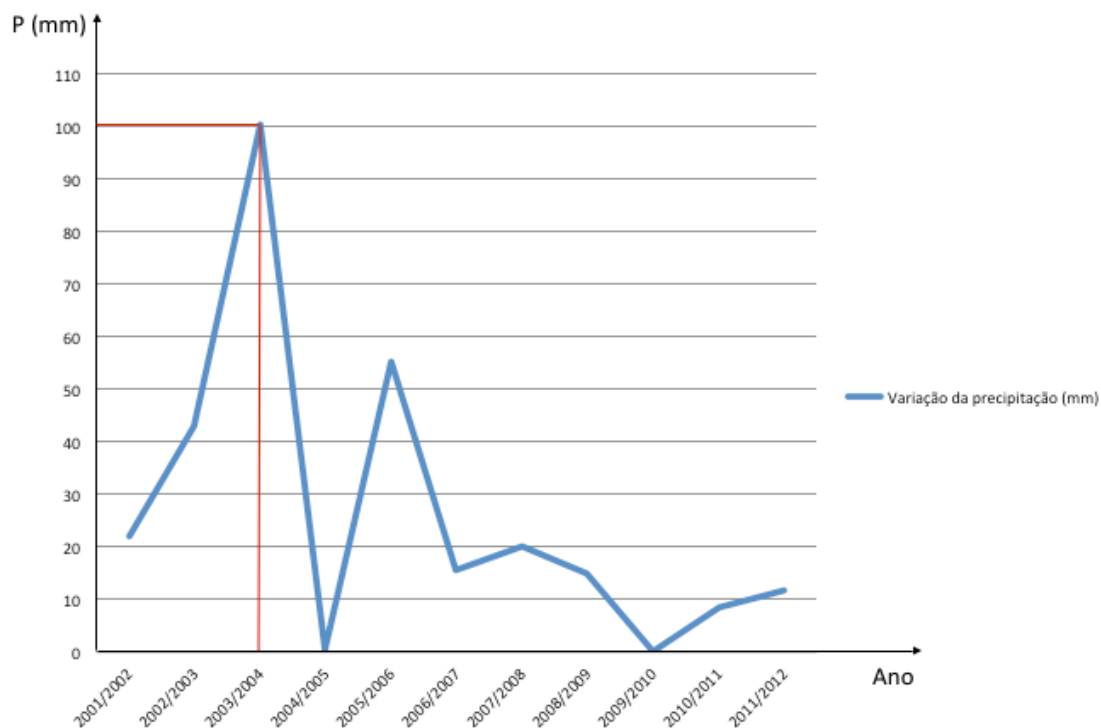


Gráfico 1 - Variação da precipitação no mês de Agosto ao longo dos anos.

Quadro 8.7 - Boletim de precipitação - Amarante 2004/2005 (www.snirh.apambiente.pt).

Boletim de Precipitação - Amarante 2004/2005												
PRECIPITAÇÃO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO
MENSAL (mm)	196.9	21.9	55.7	13.9	20	46.7	41.7	40.3	4.8	3.1	.4	5.3
MÉDIA MENSAL (mm)	120	146	170	162	148	117	96	91	51	17	20	59
MENSAL ACUMULADA (mm)	196.9	218.8	274.5	288.4	308.4	355.1	396.8	437.1	441.9	445	445.4	450.7
MÉDIA MENSAL ACUMULADA (mm)	120	266	436	598	746	863	959	1050	1101	1118	1139	1198

Quadro 8.8 - Boletim de precipitação - Amarante 2003/2004 (www.snirh.apambiente.pt).

Boletim de Precipitação - Amarante 2003/2004												
PRECIPITAÇÃO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO
MENSAL (mm)	208.8	177	107.8	130.6	22	69.3	69.9	67.3	4.3	1.9	100.2	25.1
MÉDIA MENSAL (mm)	120	146	170	162	148	117	96	91	51	17	20	59
MENSAL ACUMULADA (mm)	208.8	385.8	493.6	624.2	646.2	715.5	785.4	852.7	857	858.9	959.1	984.2
MÉDIA MENSAL ACUMULADA (mm)	120	266	436	598	746	863	959	1050	1101	1118	1139	1198

Quadro 8.9 - Boletim de precipitação - Amarante 2002/2003 (www.snirh.apambiente.pt).

Boletim de Precipitação - Amarante 2002/2003												
PRECIPITAÇÃO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO
MENSAL (mm)	232.7	275.2	341.9	318.1	104.6	110.8	100.3	9.3	63.4	28.6	43	62.7
MÉDIA MENSAL (mm)	120	146	170	162	148	117	96	91	51	17	20	59
MENSAL ACUMULADA (mm)	232.7	507.9	849.8	1167.9	1272.5	1383.3	1483.6	1492.9	1556.3	1584.9	1627.9	1690.6
MÉDIA MENSAL ACUMULADA (mm)	120	266	436	598	746	863	959	1050	1101	1118	1139	1198

Realça-se, no Gráfico 1 e no Quadro 8.8, o mês de Agosto de 2004, constatando-se que a precipitação nesse mês assumiu valores muito superiores a todos os restantes meses de verão dos anos do intervalo temporal apresentado.

Com o intuito de avaliar com maior precisão a precipitação do mês de Agosto de 2004, procurou-se obter o registo diário da precipitação, para este local. Uma vez que, para a estação de Amarante, os dados diários de precipitação não se encontravam disponíveis, procurou-se em estações próximas, nomeadamente em Penafiel, cujo valor mensal de precipitação era semelhante.

Verifica-se que a precipitação do mês de Agosto de 2004 tem dois períodos, nomeadamente do dia 9 ao dia 10, com cerca de 35 mm de precipitação acumulada e do dia 16 ao dia 19, com cerca de 90 mm acumulados, sendo que o dia 18 foi o mais chuvoso, com cerca de 50 mm de precipitação (Gráfico 2).

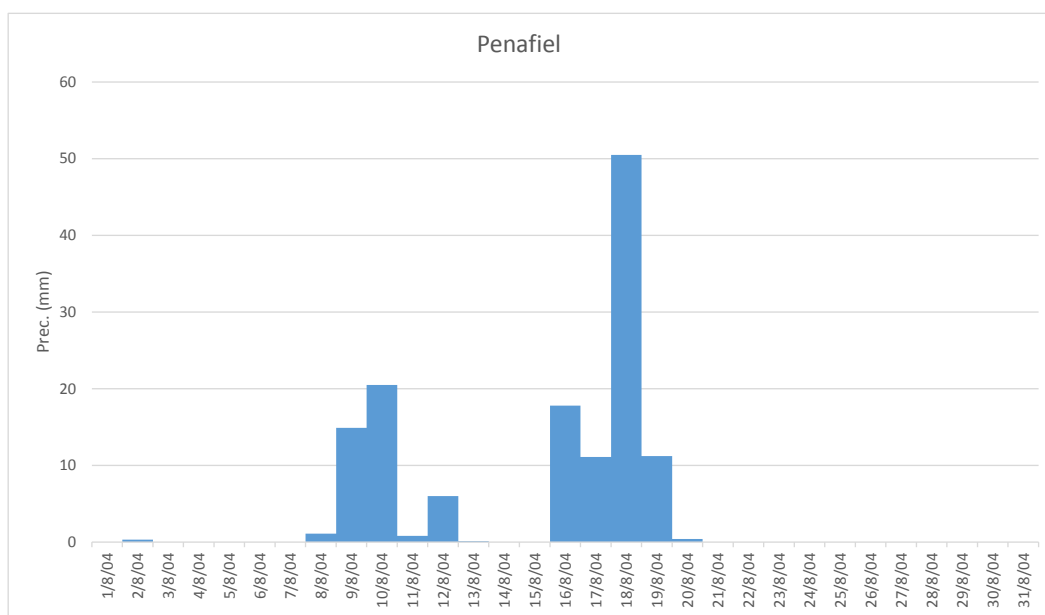


Gráfico 2 – Precipitação diária no mês de Agosto de 2004, na estação de Penafiel.

8.7 OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS NA ZONA DA VERTENTE

Nas diversas visitas de campo realizadas observou-se que a área da vertente terá sofrido, recentemente, um ou mais incêndios.

A ocorrência de incêndios é outro fator que potencia a queda de blocos. O desaparecimento temporário do coberto vegetal fragiliza o solo que recobre o manto rochoso, tornando-o facilmente erodível, sobretudo em cenários de vertentes com declives acentuados, como a presente, e sob a ação de elevadas quantidades de precipitação, fator, também comum na área em estudo. A erosão do solo pode acarretar o descalçamento de blocos rochosos mais pequenos que, por sua vez, poderá impor o descalçamento e a consequente queda de blocos rochosos de maiores dimensões.

A Figura 8.11 e a Figura 8.12 ilustram os danos causados pelos incêndios na vertente de S. Simão.



Figura 8.11 - Marcas do incêndio na vertente de S. Simão.



Figura 8.12 - Danos causados pelo incêndio na vertente de S. Simão.

8.8 REGISTO DA QUEDA DE UM BLOCO

A vertente, atrás mencionada, constituída por inúmeros blocos rochosos, representa, de facto, um potencial de perigosidade para os habitantes da sua periferia ou mesmo para as populações ou viaturas que circulam na estrada ou estradões próximos à área da vertente.

Em Agosto de 2004, durante a madrugada, um bloco rolou pela encosta e saltou para cima da garagem de uma habitação (Figura 8.13). Devido à hora a que o acidente ocorreu e também devido à capacidade resistente da laje da garagem, uma vez que reteve o bloco, não houve registo de feridos. Apenas se verificaram danos materiais na garagem e no telhado da habitação.



Figura 8.13 - Bloco rochoso que atingiu a garagem da habitação.

Dado o risco de um novo bloco provocar os mesmos danos, ou mais graves, é pertinente a realização da inspeção, da avaliação de segurança e do estudo de estabilização e de proteção desta vertente.

8.9 IMAGEM AÉREA DA VERTENTE DE S. SIMÃO

No âmbito do estudo da vertente de S. Simão foi possível obter uma imagem aérea de alta qualidade com recurso a um veículo aéreo não tripulado (*"drone"*).

O veículo aéreo não tripulado, disponibilizado pela empresa SkyCam, é um modelo montado e preparado pela própria empresa, equipado com uma máquina fotográfica Canon 70d. Foram realizados 3 voos, assegurando uma sobreposição das imagens de 70%. Simultaneamente, com recurso a um GPS de alta definição, GPS Trimble GeoExplorer GeoXH2005, disponibilizado pelo

LABCARGA|ISEP, georreferenciaram-se vários pontos e blocos rochosos, de modo a garantir a posterior georreferenciação da vertente com o necessário rigor.

O conjunto de imagens foi tratado com um programa de cálculo automático, gerando um modelo tridimensional com significativa precisão que constitui uma base de trabalho de primordial importância (Figura 8.14).



Figura 8.14 - Imagem aérea da vertente de S. Simão.

8.10 DIVISÃO DA VERTENTE EM SETORES

Para a otimização do estudo entende-se pertinente a divisão do talude em sectores de estudo. Além disso, encontram-se em curso, pela equipa do ISEP, estudos de pormenor de cartografia geotécnica, de caracterização geotécnica e de avaliação geomecânica, bem como ensaiar-se uma cartografia de perigosidade em termos de dinâmica de vertentes. O presente trabalho será cruzado, numa fase posterior, com os referidos estudos geotécnicos, geomecânicos e cartográficos.

Esta divisão prende-se, por um lado, com a posição de cada setor na vertente e na forma como se encontram associados os respetivos blocos e, por outro lado, pelas habitações que poderiam ser atingidas com o desprendimento de um bloco. Deste modo, a vertente foi dividida em 5 setores, como é observável na Figura 8.15.

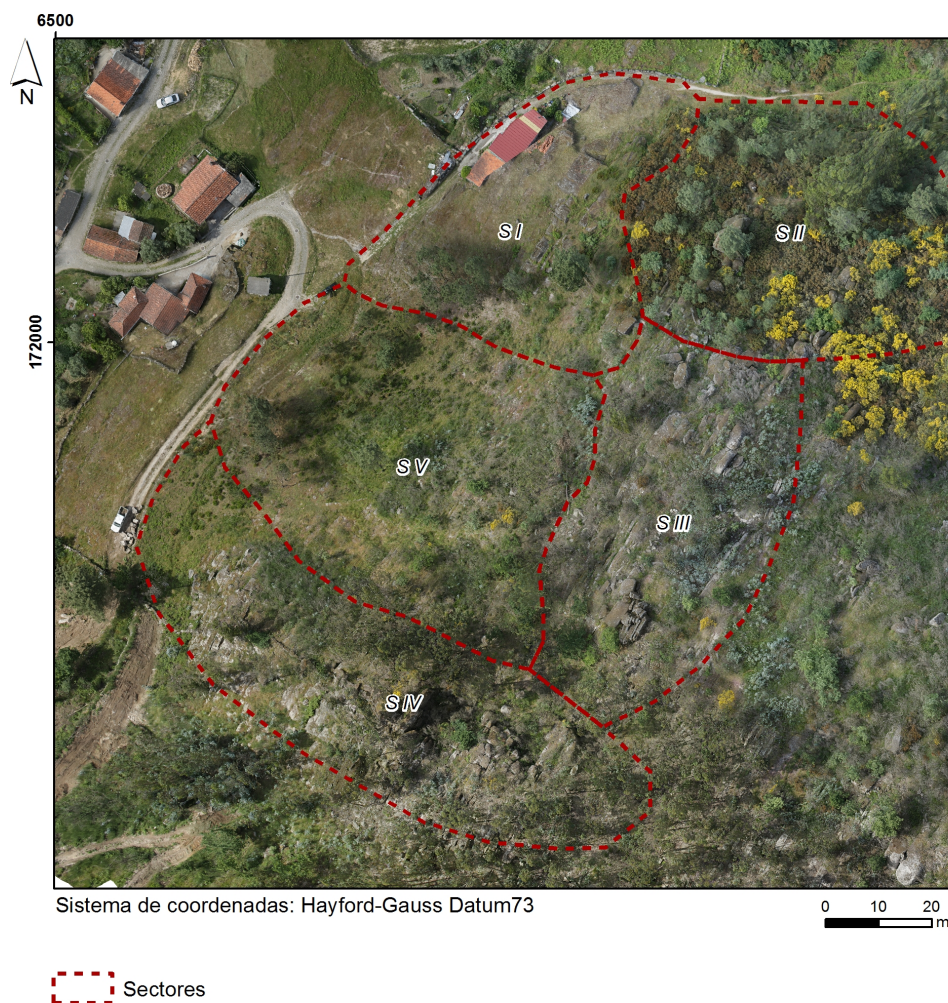


Figura 8.15 - Divisão da vertente de S. Simão em setores.

8.11 INSPEÇÃO DA VERTENTE

No decorrer dos trabalhos foram realizadas sucessivas visitas à vertente com o intuito de conhecer e avaliar o elemento em estudo, realizar um extenso levantamento fotográfico, aferir a adequação das fichas de inspeção e sugerir as respetivas adaptações.

No decurso da inspeção visual identificaram-se os blocos potencialmente instáveis que indiciavam maior perigo, tendo-se caracterizado esses blocos e registado e classificado as respetivas anomalias. As anomalias mais comuns, identificadas ao longo da inspeção foram:

- a presença de descontinuidades;
- a abertura das descontinuidades;
- a presença de vegetação com efeito estabilizador;
- a presença de blocos com efeito estabilizador (sobrecarga).

As anomalias podem ter diversas causas; no entanto, e apesar de nem sempre ser possível avaliá-las com precisão, pode considerar-se que a exploração de pedra realizada há décadas, a precipitação, os incêndios e a erosão sejam os principais motivos destas anomalias.

No âmbito do estudo da vertente de S. Simão idealizou-se uma metodologia de inspeção e, consequentemente, definiram-se duas fichas de inspeção – uma por setor e uma por bloco rochoso potencialmente instável, apresentadas no Capítulo 5.

Esta metodologia permitiu identificar os setores e os blocos rochosos mais problemáticos, de acordo com o nível de gravidade dos blocos (Quadro 8.10 e Quadro 8.11).

Quadro 8.10 - Avaliação do setor mais problemático.

Setores	Nº de blocos com um nível de gravidade do bloco compreendido entre:			
	5 a 8	9 a 12	13 a 16	17 a 19
1	0	1	2	0
2	0	1	1	0
3	0	0	5	0
4	0	1	0	0
5	0	0	0	0

Uma vez que o setor 3 apresenta 5 blocos com um nível de gravidade compreendido entre 13 a 16, verifica-se que é o setor mais problemático, local, também, de onde terá caído o bloco rochoso que atingiu a garagem.

O setor 1 apresenta 1 bloco com um nível de gravidade compreendido entre 9 a 12 e 2 blocos com um nível de gravidade compreendido entre 13 a 16, sendo o segundo setor mais problemático. Os restantes setores 2, 4 e 5, apresentam um nível de gravidade mais reduzido; no entanto, requerem cuidados aquando da proposta da solução de proteção e de estabilização.

Quadro 8.11 - Hierarquização dos blocos por nível de gravidade.

Hierarquização dos blocos por nível de gravidade	Setor	Bloco	NGB	Nível de gravidade
1º	3	BL5	16	Elevado
2º	3	BL6	15	Elevado
3º	3	BL7	15	Elevado
4º	1	BI2	14	Elevado
5º	3	BI4	14	Elevado
6º	2	BL2	14	Elevado
7º	3	BI5	13	Elevado
8º	1	BI1	13	Elevado
9º	2	BL1	11	Médio
10º	1	BL4	11	Médio
11º	4	BI6	10	Médio

O Quadro 8.11 pretende demonstrar que os blocos rochosos mais problemáticos se encontram no setor 3, apresentando um nível de gravidade elevado.

Ao analisar as fichas de inspeção é, ainda, possível observar que:

- existem 5 blocos isolados e 6 blocos não isolados potencialmente instáveis;
- o grau de alteração dos blocos é, frequentemente, W2;
- os blocos mais problemáticos são os não isolados;
- nos blocos não isolados o modo de rotura potencial é sempre por tombamento;
- a superfície de apoio dos blocos isolados é em solo e apresenta inclinações compreendidas entre os 30° a 40°.

As fichas de inspeção por bloco rochoso potencialmente instável podem ser consultadas no Anexo B.

Como referido anteriormente, desenvolveu-se uma ficha de inspeção por setor. A similaridade dos dados recolhidos, no decorrer do trabalho de campo, suscitou a necessidade de sintetizar os dados numa única ficha de inspeção geral (Anexo A).

8.12 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE BLOCOS

A inspeção da vertente permitiu identificar blocos com potencial instabilização por deslizamento ou por tombamento.

A geometria da vertente, a posição das habitações e dos caminhos no respetivo sopé, a presença de uma densa mancha de árvores em crescimento e a existência de uma linha de talvegue acentuada permitem perspetivar a conceção de uma solução de reforço e proteção que deverá incluir, entre outras medidas, o recalçamento de alguns blocos instáveis e a instalação de uma linha de barreiras na base da vertente.

Em seguida, apresenta-se a verificação da segurança relativamente aos estados limites de rotura por tombamento e por deslizamento de um bloco rochoso (BL1) e o dimensionamento de uma solução de recalçamento. Apresenta-se ainda a verificação da segurança ao estado limite de rotura por tombamento de um outro bloco rochoso (BL6).

No item 8.13 apresenta-se o estudo realizado com o auxílio do programa de cálculo automático “Rocfall 4.0” que permite a definição das características e da localização de barreiras flexíveis a instalar.

8.12.1 Considerações relativas ao eventual tombamento do bloco

A verificação da segurança relativamente a uma eventual instabilização do bloco por tombamento poderá realizar-se considerando o esquema representado na Figura 8.16. A força P introduzirá um momento estabilizador igual a: $M_{estab.} = 381,6 \text{ kN.m}$ e a força Q, um momento desestabilizador igual a: $M_{desest.} = 10,46 \text{ kN.m}$.

Como o momento estabilizador é claramente superior ao desestabilizador a segurança relativamente à rotura por tombamento está garantida.

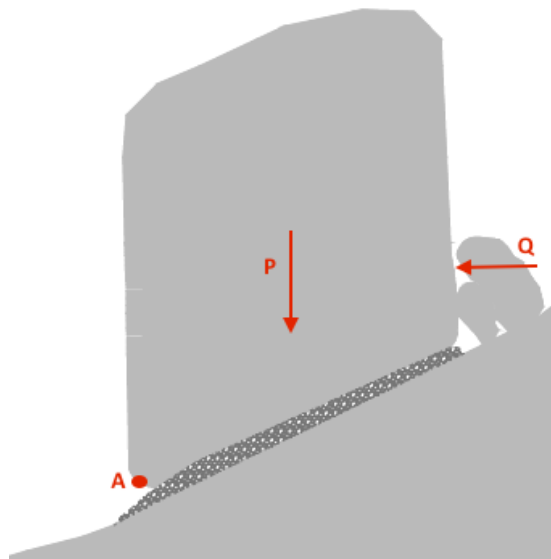


Figura 8.16 – Componente do peso (P) e da sobrecarga (Q) presentes no bloco rochoso BL1.

8.12.2 Ao deslizamento

Para a avaliação da segurança ao deslizamento do bloco BL1 adota-se a metodologia de cálculo apresentada no capítulo 3.

O bloco BL1 trata-se de um bloco rochoso com elevadas dimensões, com inclinação na superfície de apoio de cerca de 26° e que contém, ao longo de toda a sua face anterior, um conjunto de blocos rochosos apoiados que produzem sobrecarga, provocando um efeito instabilizador.

Numa primeira fase avaliar-se-á a segurança ao deslizamento do bloco sem a consideração da intervenção do perfil metálico e da sobrecarga associada ao material depositado no tardo do bloco.

A Figura 8.17 e a Figura 8.18 ilustram o bloco rochoso selecionado e um esquema das cargas presentes no mesmo, respetivamente.

O fator de segurança será igual a:



Figura 8.17 - Bloco rochoso BL1.

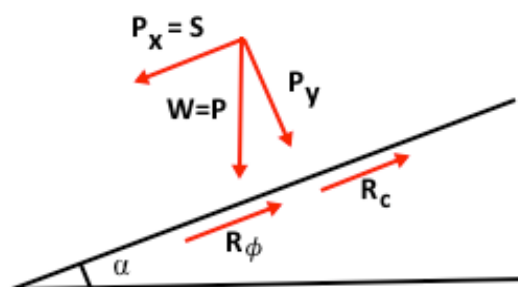


Figura 8.18 - Forças presentes no bloco rochoso BL1.

O fator de segurança ao deslizamento será igual a:

$$F = \frac{R_c + R_\phi}{S}$$

em que,

- R_c - Forças coesivas = $c \times A$;
 - c = coesão
- R_ϕ - Forças de atrito = $W \times \cos \alpha \times \operatorname{tg} \phi$;
- ϕ = ângulo de atrito entre a base do bloco rochoso e a respetiva superfície de apoio;
- S - Forças que favorecem o deslizamento = $W \times \sin \alpha$;
- A - área do plano de rotura.

$$\text{Peso volúmico do granito} = 26,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\alpha = 26^\circ \text{ (medido no local)}$$

$$\text{Dimensões do bloco: } 3,6 \times 2 \times 2 \text{ m}$$

$$A = 3,6 \times 2 = 7,2 \text{ m}^2$$

$$c = 2 \text{ kN/m}^2 \text{ (admitido)}$$

$$R_c = 2 \times 7,2 = 14,4 \text{ kN}$$

$$S = 381,6 \times \sin 26 = 167,28 \text{ kN}$$

$$W = P = 3,6 \times 2 \times 2 \times 26,5 = 381,6 \text{ kN}$$

$$F = \frac{R_c + R_\phi}{S} \Leftrightarrow 1 = \frac{14,4 + R_\phi}{167,28} \Leftrightarrow R_\phi = 152,88 \text{ kN}$$

Para que o coeficiente de segurança seja maior ou igual a 1, o valor da força de atrito (R_ϕ) terá que ser maior ou igual a 152,88 kN.

Para que este valor se mobilize, o ângulo de atrito, ϕ , no local deverá ser superior a:

$$R_\phi = W \times \cos \alpha \times \operatorname{tg} \phi \Leftrightarrow 152,88 = 381,6 \times \cos 26 \times \operatorname{tg} \phi \Leftrightarrow \phi \cong 24^\circ$$

É um valor relativamente baixo que facilmente se poderá considerar mobilizável entre a base do bloco e o terreno subjacente.

Considerando agora a sobrecarga existente no tardo do bloco, um valor do ângulo de atrito igual a 24° e a intenção de elevar o fator de segurança ao deslizamento para valores da ordem de 1.5, dimensionar-se-á um perfil metálico que se encastrará no bloco e na superfície rochosa situada na sua base.

A Figura 8.19 pretende ilustrar as cargas presentes no bloco rochoso BL1, considerando uma força T, relativa ao perfil metálico a colocar como solução de reforço e uma força Q, componente horizontal do peso relativo aos blocos rochosos presentes no tardo de BL1.

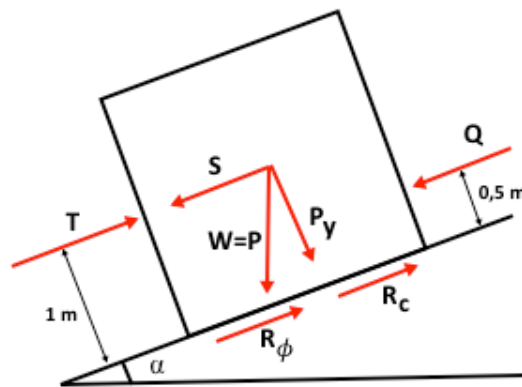


Figura 8.19 - Cargas presentes no bloco BL1.

Deste modo, e seguindo a metodologia preconizada no capítulo 3, o fator de segurança será obtido através da seguinte expressão:

$$F = \frac{R_c + R_\phi + T}{S + Q}$$

em que:

$$Q = (3,6 \times 1 \times 0,5 \times 26,5) \times \sin 26 \Leftrightarrow Q = 20,92 \text{ kN}$$

logo:

$$1,5 = \frac{14,4 + 152,88 + T}{167,28 + 20,92} \Leftrightarrow T = 115,02 \text{ kN}$$

8.12.2.1 Dimensionamento do perfil metálico

O perfil metálico será inclinado de $\beta = 45^\circ$ (Figura 8.20).

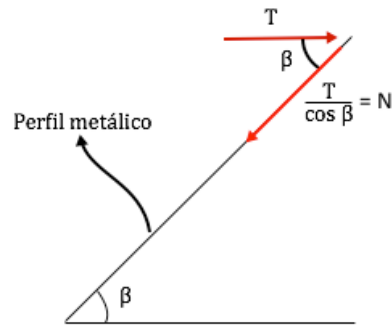


Figura 8.20 - Decomposição da força T , segundo a direção do perfil metálico.

O esforço axial N , a considerar no dimensionamento do perfil metálico, será igual a:

$$N = \frac{T}{\cos \beta} = \frac{115,02}{\cos 45} = 162,66 \text{ kN}$$

e o respetivo valor de cálculo:

$$N_{Ed} = 1,35 \times 162,66 = 219,6 \text{ kN}$$

Nota: O esforço axial instalado no perfil metálico foi majorado por 1,35, uma vez que apenas se consideraram ações permanentes.

Dimensionamento:

No dimensionamento do perfil metálico considerou-se o estado limite último de encurvadura por flexão. Embora as fixações das respetivas extremidades devam impedir as rotações destas secções, admitir-se-á que estas se encontram livres de rodar, pelo que o comprimento de encurvadura será igual ao comprimento do perfil.

Considerar-se-á o perfil com comprimento de 1,80 m e o aço constituinte o S235.

$$A \geq \frac{N_{Ed}}{f_y} \Leftrightarrow A \geq \frac{219,6}{235 \times 10^3} \Leftrightarrow A \geq 9,34 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{HEA } 100 \text{ (} A = 21,2 \text{ cm}^2 \text{)}$$

Na Figura 8.21 apresenta-se o perfil metálico do tipo “HEA”.

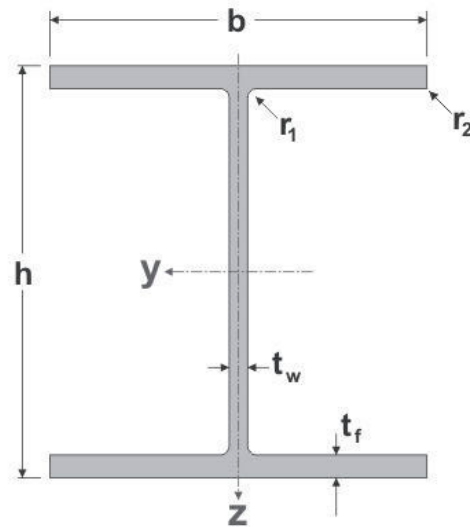


Figura 8.21 - Perfil metálico do tipo “HEA.”

Verificação da segurança do perfil à encurvadura por flexão

$$L_{cr} = L \Leftrightarrow L_{cr} = 1,80 \text{ m}$$

Cálculo da esbelteza, $\bar{\lambda}$:

$$\bar{\lambda} = \frac{1,8}{0,0251} \times \frac{1}{93,9 \times 1} = 0,7637$$

Cálculo da adequada esbelteza normalizada, χ :

$$\frac{h}{b} \leq 1,2 \Leftrightarrow \frac{h}{b} = 0,96 < 1,2; t_f \leq 100 \text{ mm}; \text{ encurvadura em relação ao eixo } z - z \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{curva } c \Rightarrow \alpha = 0,49$$

$$\Phi = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,7637 - 0,2) + 0,7637^2] \Leftrightarrow \Phi = 0,93$$

$$\chi = \frac{1}{0,93 + \sqrt{0,93^2 - 0,7637^2}} \Leftrightarrow \chi = 0,685$$

Verificação da segurança:

$$N_{b,rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \Leftrightarrow N_{b,rd} = \frac{0,685 \times 21,2 \times 10^{-4} \times 235 \times 10^3}{1} \Leftrightarrow N_{b,rd} = 341,27 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,rd}} \leq 1 \Leftrightarrow \frac{219,6}{341,27} = 0,64 \Rightarrow Ok$$

O perfil HEA 100 revela-se adequado para suportar o bloco rochoso BL1, caso se revele necessário.

8.12.3 Ao tombamento

No decorrer das visitas à vertente observou-se a presença de vários blocos rochosos com potencial rotura por tombamento.

Para a análise da estabilidade selecionou-se o bloco BL6, uma vez que este apresenta um nível de gravidade do bloco (NGB) elevado.

Na Figura 8.22 e na Figura 8.23 apresenta-se, respetivamente, o bloco rochoso BL6 e um esquema ilustrativo do bloco selecionado.



Figura 8.22 - Bloco rochoso BL6.

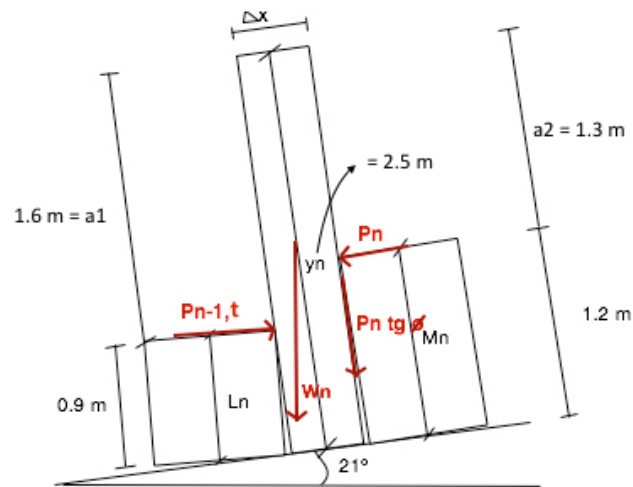


Figura 8.23 - Esquema ilustrativo do bloco BL6 (sem escala).

De acordo com os passos indicados no item 3.4 do capítulo 3, inicialmente verifica-se a condição

$$\frac{\Delta x}{y_n} < \operatorname{tg} \alpha.$$

$$\frac{\Delta x}{y_n} = \frac{0,5}{2,5} = 0,2 < \operatorname{tg} 21 \Leftrightarrow 0,2 < 0,384 \Rightarrow \text{é possível ocorrer tombamento}$$

Cálculo das dimensões M_n e L_n

$$M_n = y_n - a_2 \Leftrightarrow M_n = 2,5 - 1,3 \Leftrightarrow M_n = 1,2 \text{ m}$$

$$L_n = y_n - a_1 \Leftrightarrow L_n = 2,5 - 1,6 \Leftrightarrow L_n = 0,9 \text{ m}$$

Ângulo com a horizontal e ângulo de atrito considerados, respetivamente:

$$\alpha = 21^\circ$$

$$\phi = 25^\circ \text{ (admitido)}$$

Cálculo de $P_{n-1,t}$ necessário para que não ocorra tombamento:

$$P_{n-1,t} = \frac{\left[\frac{1}{2} W_n (\sin \alpha Y_n - (\cos \alpha \Delta x)) + P_n (M_n - (\operatorname{tg} \phi \Delta x)) \right]}{L_n} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow P_{n-1,t} = \frac{\left[\frac{1}{2} \times 99,375 \times (\sin(21) \times 2,5 - (\cos(21)) \times 0,5) + 34,19 \times (1,2 - (\operatorname{tg}(25) \times 0,5)) \right]}{0,9} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow P_{n-1,t} = 60,42 \text{ kN}$$

em que:

$$W_n = 3 \times 0,5 \times 2,5 \times 26,5 \Leftrightarrow W_n = 99,375 \text{ kN}$$

e:

$$P_n = (3 \times 1 \times 1,2 \times 26,5) \times \sin 21 = 34,19 \text{ kN}$$

Como demonstram os cálculos efetuados, para que os blocos estejam em equilíbrio é necessário que a força $P_{n-1,t} \geq 60,42 \text{ kN}$, tal não se verifica. Na realidade a força $P_{n-1,t}$ é:

$$P_{n-1,t} = (3 \times 1,1 \times 0,9 \times 26,5) \times \sin 21 = 28,21 \text{ kN}$$

Deste modo, o bloco rochoso BL6 está em risco de sofrer uma rotura por tombamento.

8.13 AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA COM RECURSO A PROGRAMAS DE CÁLCULO AUTOMÁTICO.

A avaliação da segurança com recurso a programas de cálculo automático representa uma mais valia no estudo de blocos instáveis, uma vez que permite analisar a estabilidade e as trajetórias de blocos rochosos de uma forma intuitiva, rápida e com elevada precisão.

No presente caso de estudo foi utilizado o programa “*Rocfall 4.0*” da “*Rocscience*”, apresentado no item 3.6.1 do capítulo 3, para a modelação de um conjunto de blocos instáveis selecionados de acordo com a hierarquização proposta na inspeção da vertente, apresentada no item 8.11.

O programa “*Rocfall 4.0*” modela bidimensionalmente a trajetória de blocos rochosos.

Na vertente em estudo, a trajetória da maioria dos blocos instáveis encaminhar-se-á, inicialmente, no sentido da linha de talvegue e continuará, em seguida, desenhando um percurso ao longo dessa linha.

A primeira tarefa consiste, assim, na definição das diferentes trajetórias tridimensionais.

Em cada uma dessas trajetórias deverão identificar-se os materiais sobre os quais rolarão os blocos – rocha limpa, solo com vegetação, rocha com afloramentos rochosos ou caminho revestido com cubos de granito.

Este estudo foi realizado com o apoio do modelo 3D produzido e com sucessivas visitas à vertente para validação das informações obtidas. Após a definição das diferentes trajetórias no modelo 3D, procedeu-se à sua adaptação a duas dimensões para a análise com o programa “*Rocfall 4.0*” (Figura 8.24 e Figura 8.25).

Para cada um dos materiais definidos, tal como referido no item 3.6.1 do capítulo 3, deverão caracterizar-se quatro parâmetros – coeficiente de restituição normal (R_n), coeficiente de restituição tangencial (R_t), ângulo de atrito (ϕ) e o desvio padrão da rugosidade do terreno percorrido (Rug°).

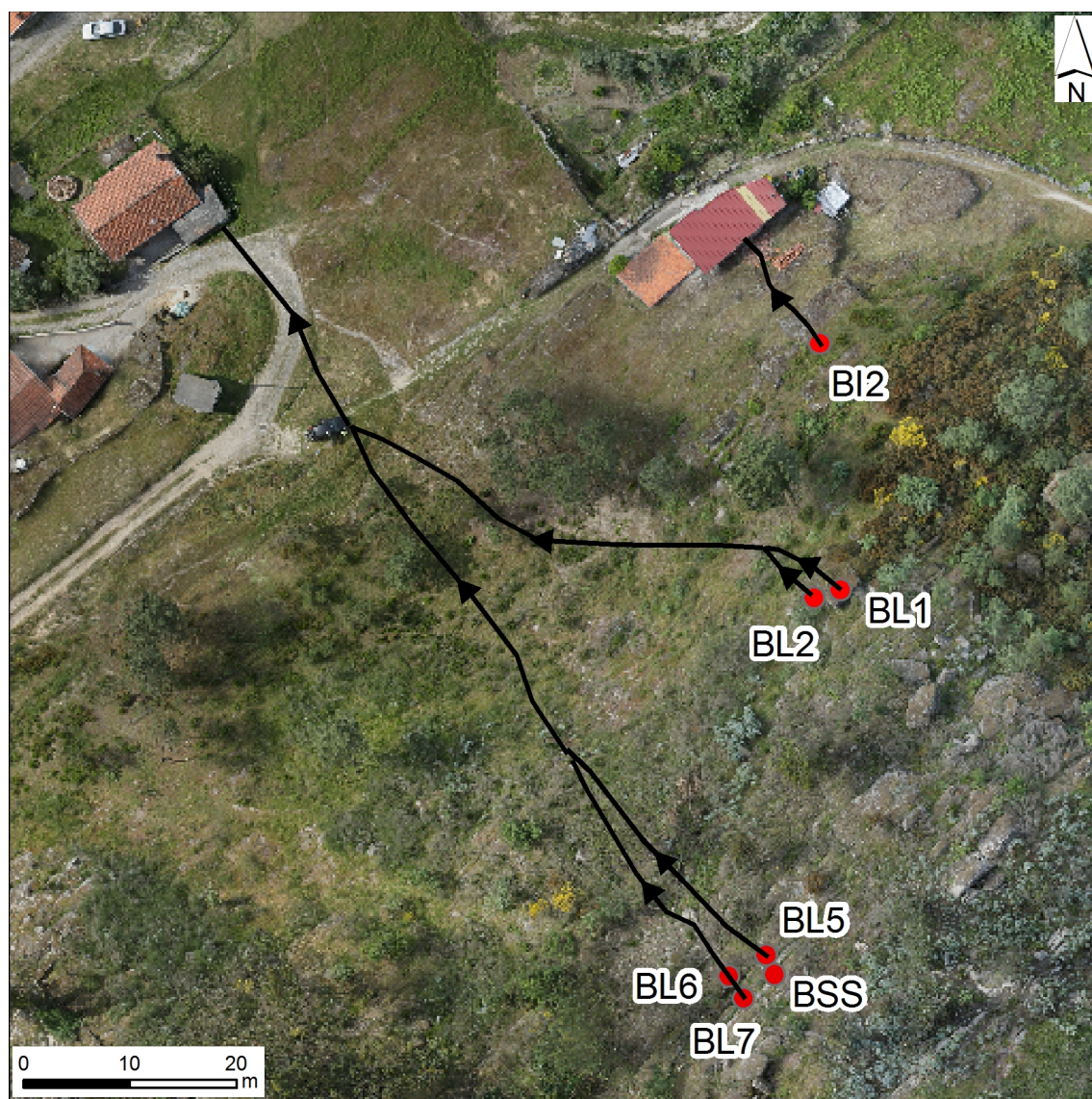


Figura 8.24 - Trajetórias obtidas através do modelo 3D.

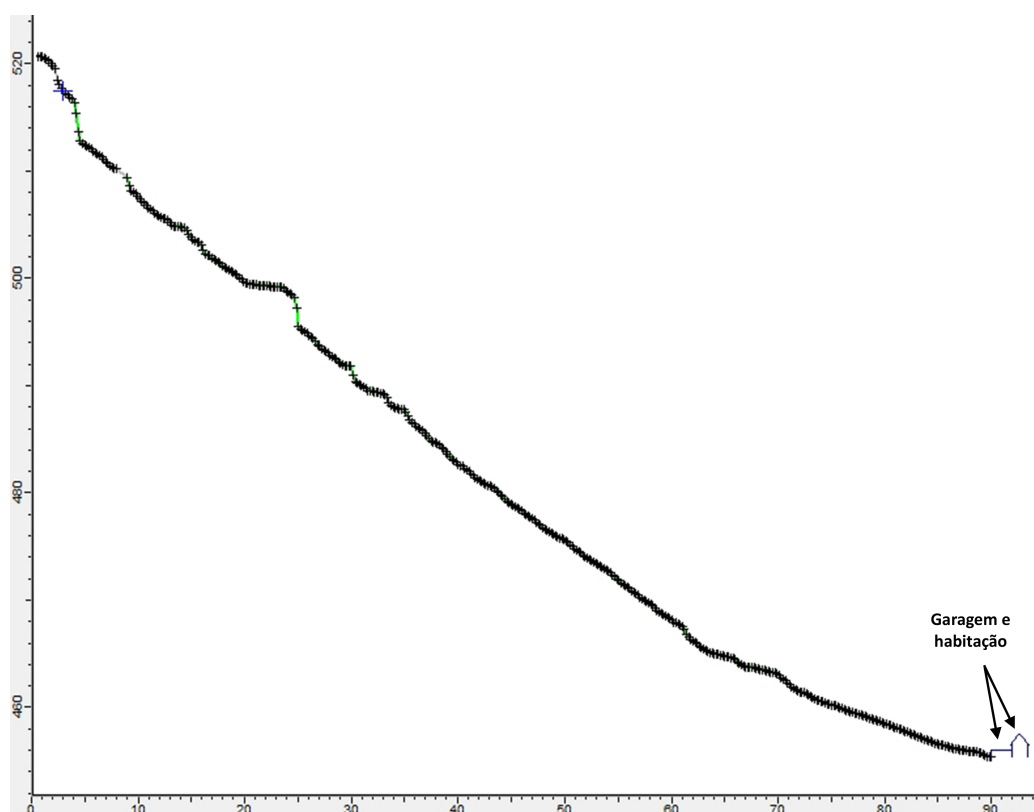


Figura 8.25 - Trajetória bidimensional do bloco rochoso que atingiu a garagem.

Embora o programa “*Rocfall 4.0*” apresente valores sugeridos para os 4 parâmetros e a bibliografia da especialidade disponibilize, também, valores de referência, no caso apresentado, em que ocorre a queda de um bloco, procurou-se definir os valores para os 4 parâmetros, a partir da informação existente sobre a trajetória seguida pelo bloco que atingiu a garagem, em particular pela sua configuração à chegada ao teto da garagem.

Com efeito, relatos dos habitantes da moradia atingida, bem como dos vizinhos, coincidem na descrição da forma como o bloco chegou à rua revestida com cubos de granito, saltou e atingiu o teto da garagem, que dista cerca de 70cm do terreno adjacente (Figura 8.26).

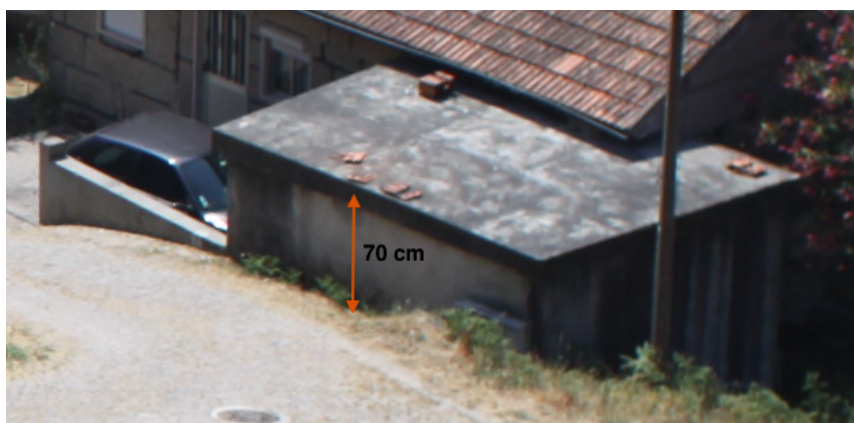


Figura 8.26 - Garagem da habitação.

O local de origem do bloco rochoso, integrado no setor 3, foi também identificado pela mãe da proprietária, em mais do que uma ocasião (Figura 8.27).



Figura 8.27 – Local de origem do bloco rochoso que atingiu a garagem.

Identificada a trajetória deste bloco no modelo 3D e realizada a sua adaptação bidimensional para a modelação com o programa “Rocfall 4.0”, foram definidos valores para os materiais envolvidos, tomando valores de referência do programa “Rocfall 4.0” e da bibliografia da especialidade, sucessivamente adaptados até se conseguir reproduzir a trajetória que o bloco terá percorrido, em particular o último salto, atingindo a garagem da moradia (Figura 8.28).

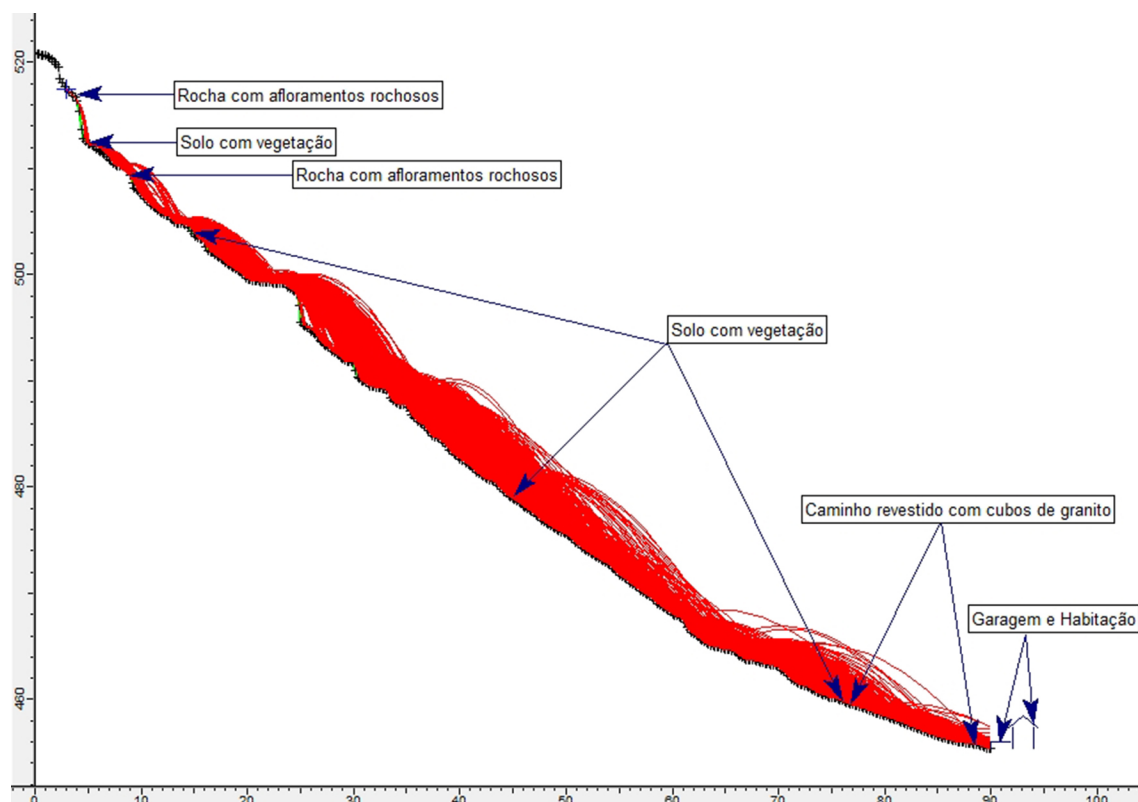


Figura 8.28 - Modelação do bloco rochoso que atingiu a garagem.

Com o intuito de avaliar a sensibilidade da trajetória relativamente aos valores dos quatro parâmetros, realizou-se uma análise paramétrica.

Consideraram-se os quatros materiais envolvidos (rocha limpa, solo com vegetação, rocha com afloramentos rochosos e caminho revestido com cubos de granito) e para cada material definiram-se cinco valores diferentes para R_n , cinco valores diferentes para R_t , cinco valores para ϕ e três valores para o desvio padrão da rugosidade ($Rug.^o$). Realizaram-se 18 modelações e registaram-se as alturas atingidas pelos blocos à chegada à garagem.

Lançaram-se conjuntos de 500 blocos com velocidades iniciais nulas, em cada modelação, e consideraram-se as alturas atingidas por, pelo menos, 25 blocos, ($h_{0,05}$), ou seja, 5% do conjunto que constitui a amostra.

No Gráfico 3, Gráfico 4, Gráfico 5 e Gráfico 6 representa-se a evolução da altura de chegada em função da variação de, respetivamente, R_n , R_t , ϕ e R_{ug} ($^{\circ}$).

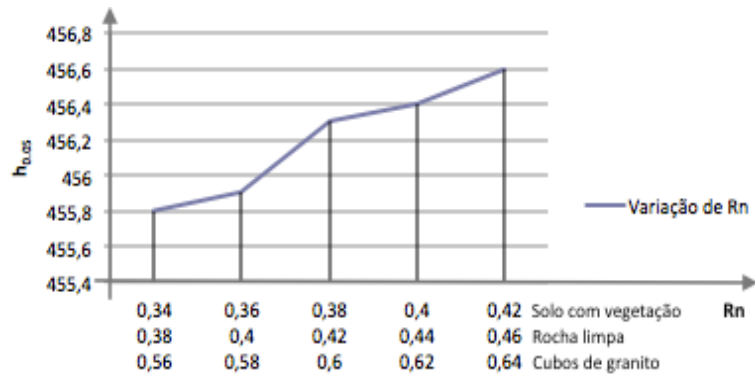


Gráfico 3 - Evolução da altura de chegada em função da variação de R_n .

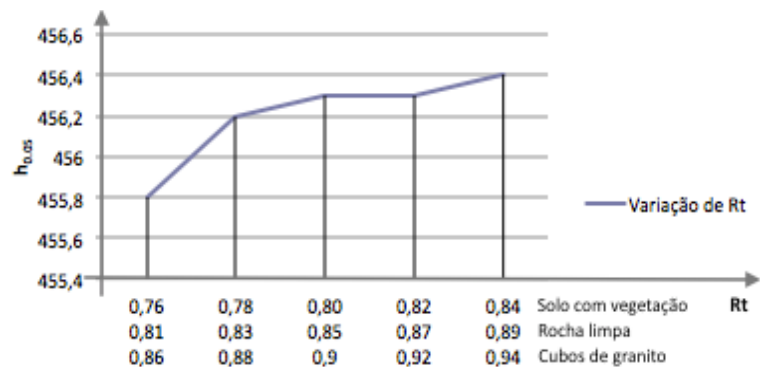


Gráfico 4 - Evolução da altura de chegada em função da variação de R_t .

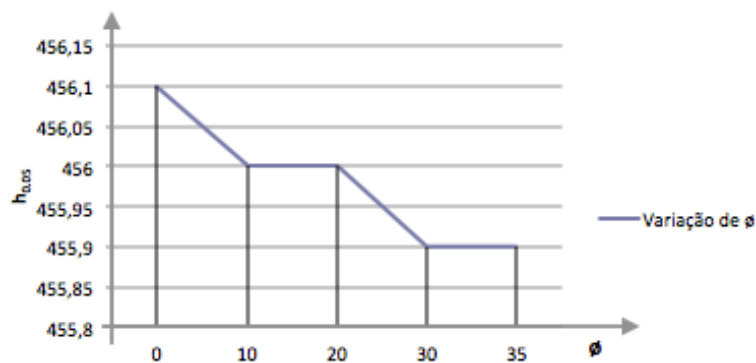


Gráfico 5 - Evolução da altura de chegada em função da variação de ϕ .



Gráfico 6 - Evolução da altura de chegada em função da variação do desvio padrão da rugosidade.

Verifica-se uma dependência, com alguma expressão, da altura de chegada do bloco relativamente aos parâmetros R_n e R_t , aumentando essa altura com o incremento de R_n e de R_t .

Relativamente aos valores de ϕ e de Rug. (°), a dependência da altura de chegada é pouco significativa.

O conjunto de valores que permite obter uma altura de chegada igual à altura real (70 cm) é apresentado no Quadro 8.12.

Quadro 8.12 - Conjunto de valores que permitem obter uma altura de chegada de 70cm.

Tipo de terreno	Coefficiente de restituição normal (R_n)	Coefficiente de restituição tangencial (R_t)	Ângulo de atrito (ϕ)	Desvio padrão da rugosidade (Rug. (°))
Solo com vegetação	$0,38 \pm 0,04$	$0,8 \pm 0,04$	30 ± 2	0
Base rochosa com afloramentos	$0,42 \pm 0,04$	$0,85 \pm 0,04$	30 ± 2	0
Rocha limpa	$0,48 \pm 0,04$	$0,9 \pm 0,04$	30 ± 2	0
Cubos de granito	$0,6 \pm 0,04$	$0,9 \pm 0,04$	30 ± 2	0

Selecionar-se-ão os valores dos parâmetros obtidos na retroanálise para a modelação de um conjunto de blocos que se entende representativo dos blocos instáveis dos diferentes sectores.

Os blocos a modelar, BL2, BL1, BL2, BL5 e BL6, foram escolhidos de acordo com a hierarquização definida na fase de inspeção com a atribuição do nível de gravidade do bloco.

Na Figura 8.29 apresentam-se imagens destes blocos.



Figura 8.29 - Blocos rochosos selecionados para a modelação.

Na Figura 8.30, Figura 8.33, Figura 8.34, Figura 8.35 e Figura 8.36 apresentam-se as modelações dos blocos rochosos BL2, BL1, BL2, BL5 e BL6, respetivamente.

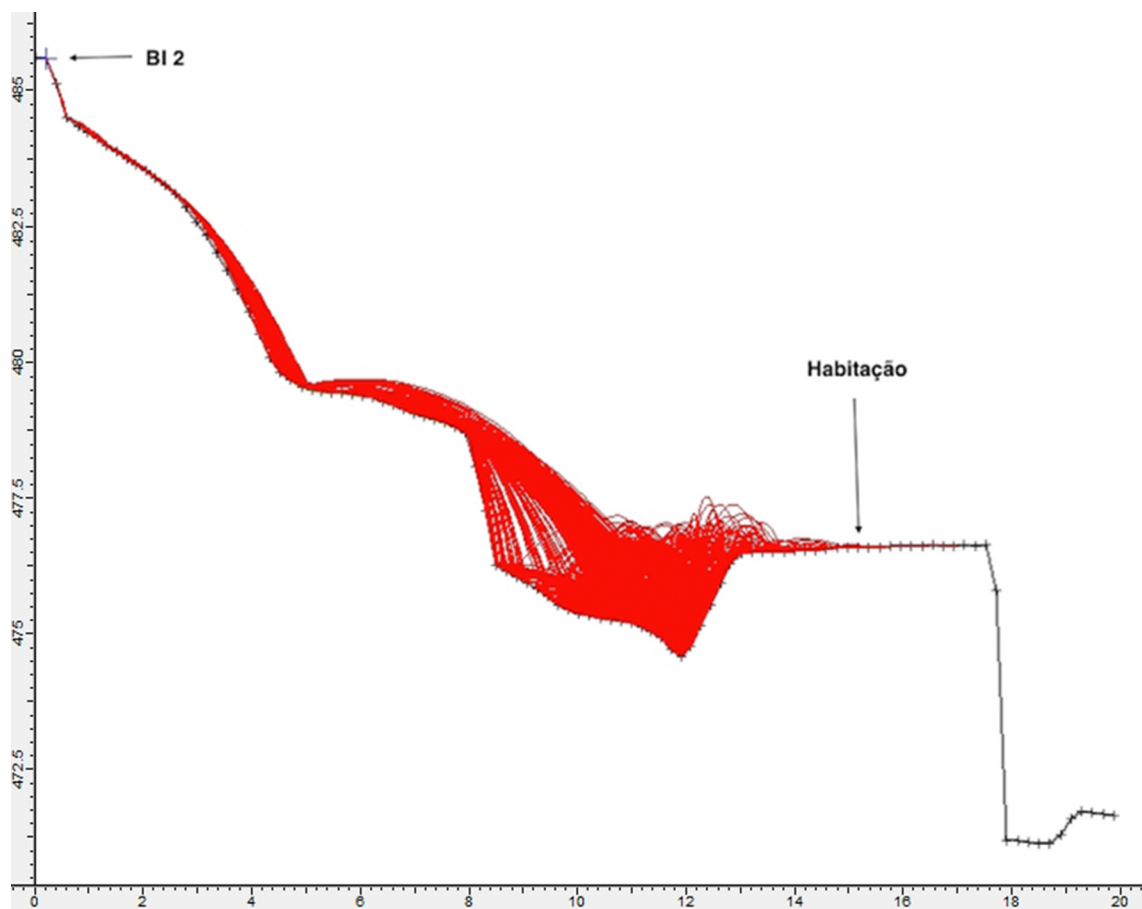


Figura 8.30 - Modelação do bloco rochoso BI2.

De acordo com a modelação, o bloco rochoso BI2 poderá atingir a habitação que se encontra na base da vertente a cota superior (Figura 8.31).



Figura 8.31 - Bloco rochoso BI2 e habitação que se encontra na base da vertente, a cota superior.

Os blocos rochosos BL1, BL2, BL5 e BL6 poderiam atingir a garagem e a habitação apresentadas na Figura 8.32.



Figura 8.32 - Garagem e habitação que poderão ser atingidas pelos blocos BL1, BL2, BL5 e BL6.

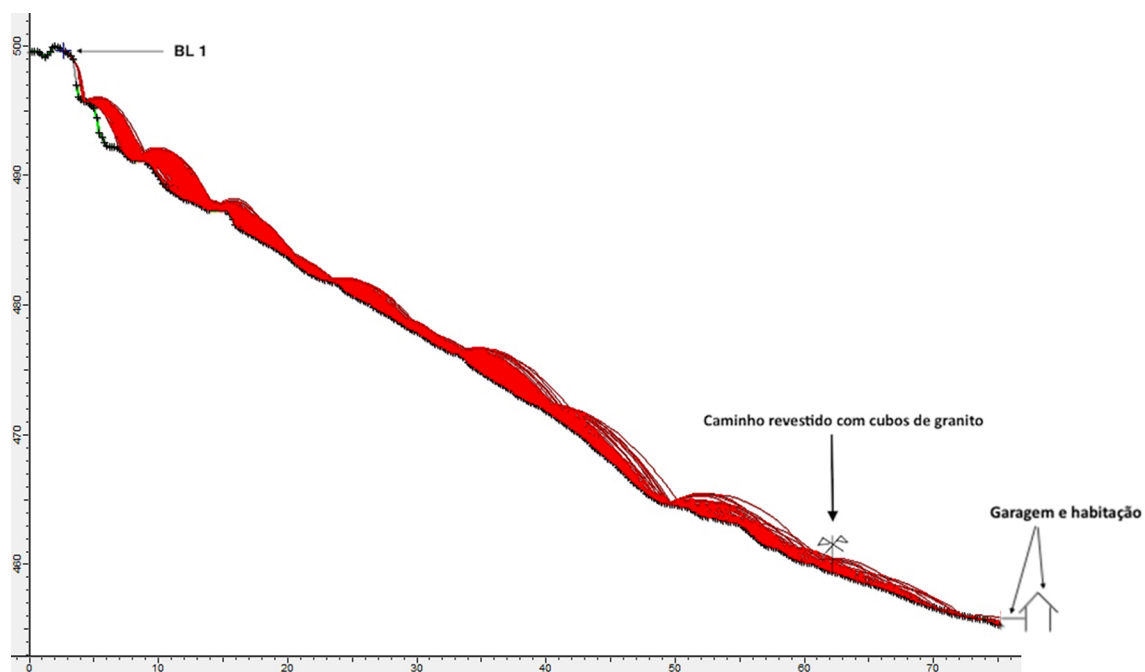


Figura 8.33 - Modelação do bloco rochoso BL1.

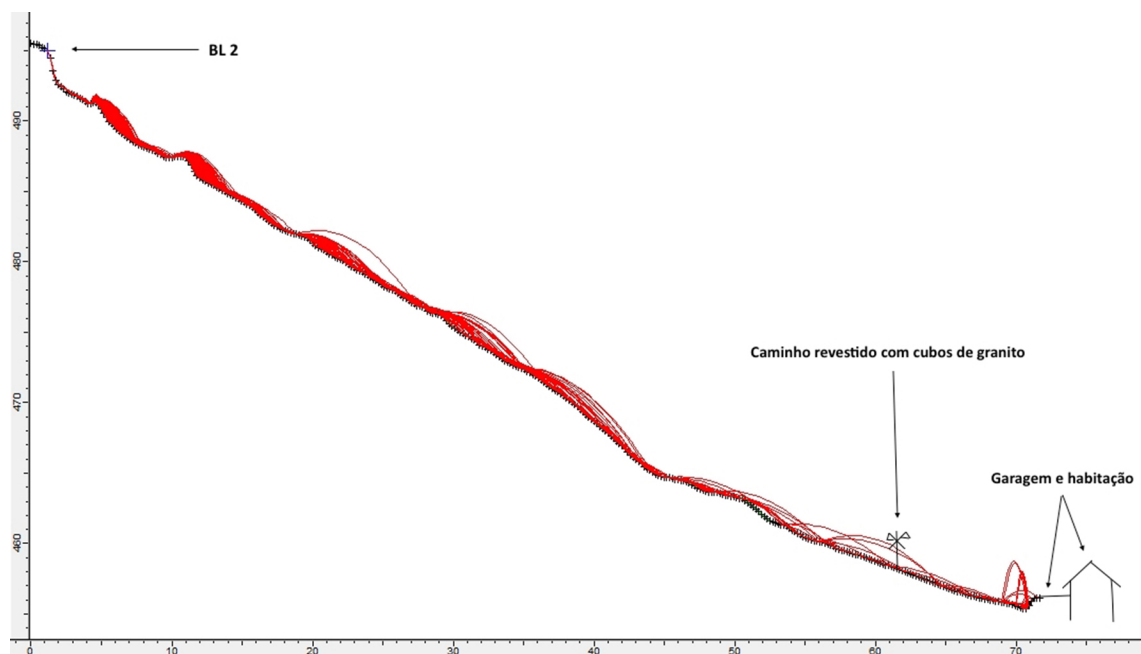


Figura 8.34 - Modelação do bloco rochoso BL2.

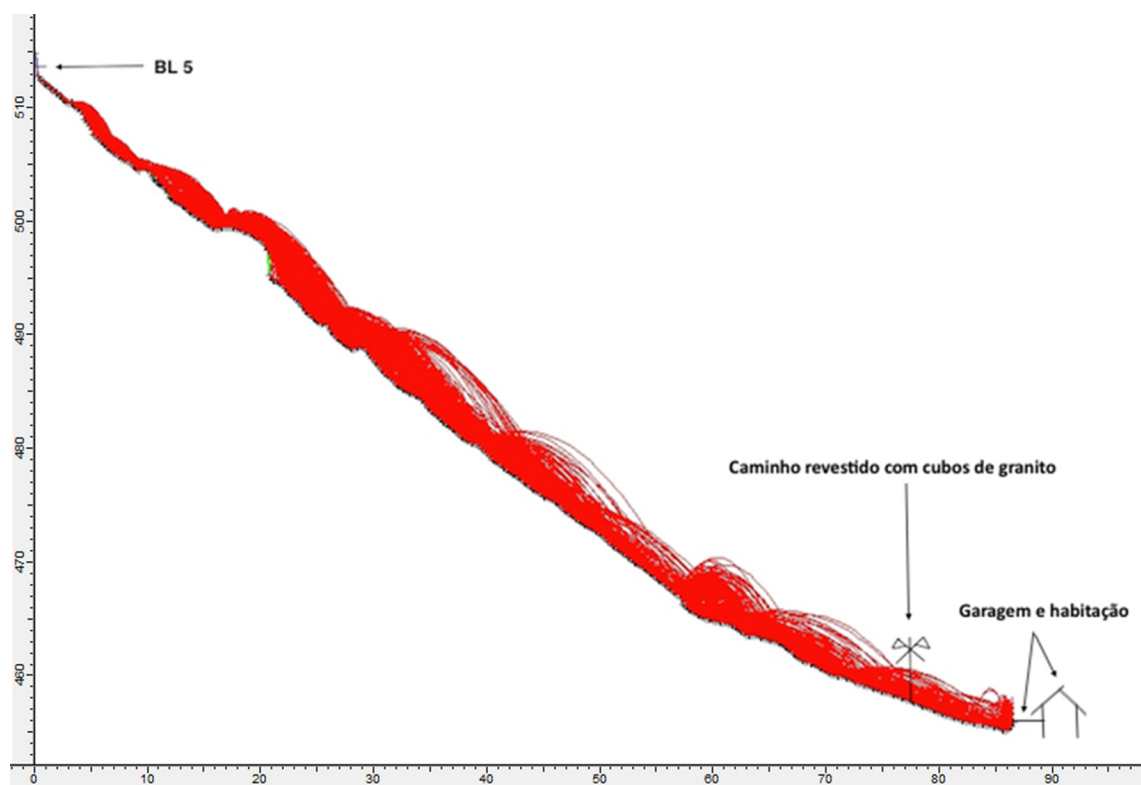


Figura 8.35 - Modelação do bloco rochoso BL5.

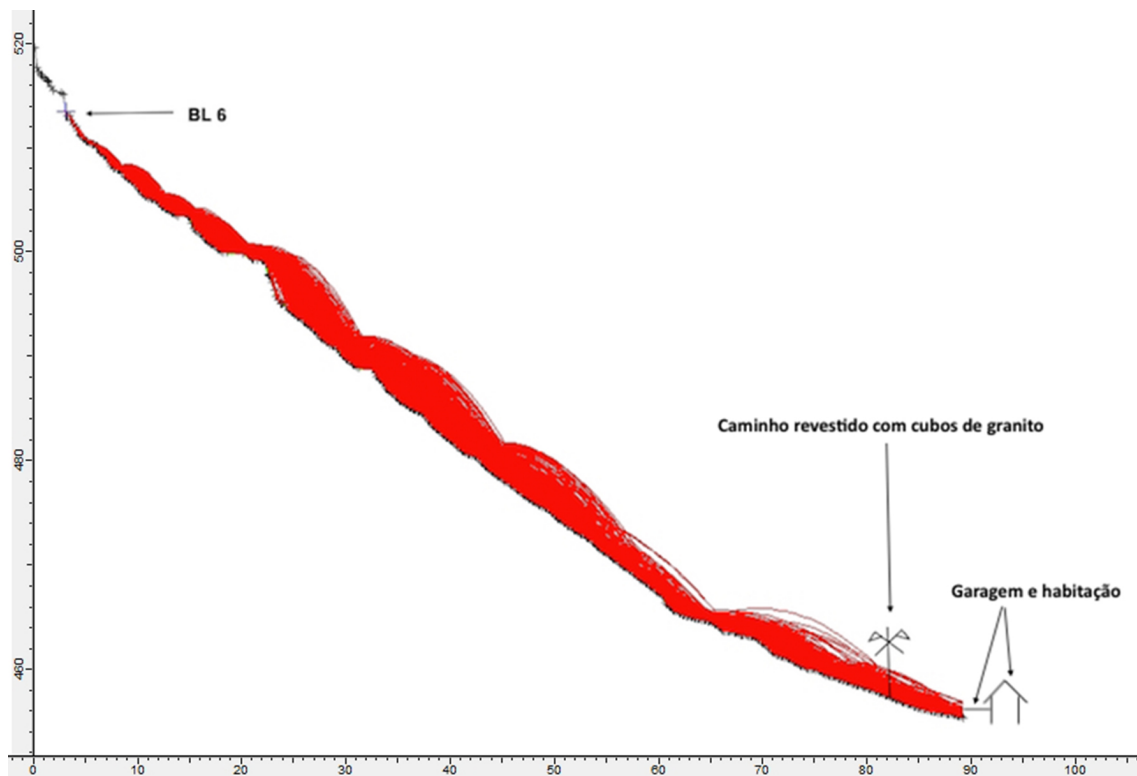


Figura 8.36 - Modelação do bloco rochoso BL6.

As modelações dos blocos rochosos também se encontram nas respetivas fichas de inspeção por bloco rochoso potencialmente instável, apresentadas no Anexo B.

8.14 SOLUÇÕES DE PROTEÇÃO

Para a proteção das habitações que se encontram no sopé da vertente rochosa sugerem-se as seguintes medidas:

- a desmatagem das giestas secas presentes na vertente;
- o saneamento dos blocos rochosos BL1 e BL2, inseridos no setor 1, uma vez que apresentam um nível de gravidade do bloco elevado e colocam em causa a segurança dos moradores;
- o saneamento de diversos blocos rochosos que se encontram ao longo da vertente e já terão rolado de cotas superiores;
- a colocação de um perfil metálico no bloco rochoso BL1, de modo a garantir o respetivo reforço e a aumentar a sua segurança relativamente à rotura por deslizamento;

- a instalação de uma barreira flexível no sopé da vertente, comum aos setores 2, 3, 4 e 5;
- a plantação de mais árvores e a preservação do conjunto existente;
- a criação e a manutenção periódica de corta-fogos entre a vertente e a mata adjacente.

A desmatção da vertente permitirá observar blocos rochosos que se encontrarão ao longo da mesma e não terão sido identificados no decorrer da inspeção. Estes blocos poderão estar associados a quedas provenientes de cotas superiores e deverão ser saneados.

O bloco rochoso BL1 apresenta um coeficiente de segurança ao deslizamento inferior ao recomendado (1.5), necessitando, deste modo, de a instalação de um perfil metálico HEA 100, que permitirá elevar este fator. O perfil deverá ser soldado a duas chapas metálicas, uma no topo e outra na base, que se encontrarão aparafusadas, por meio de 4 parafusos, ao bloco rochosos BL1 e à superfície rochosa situada na base (Figura 8.37).

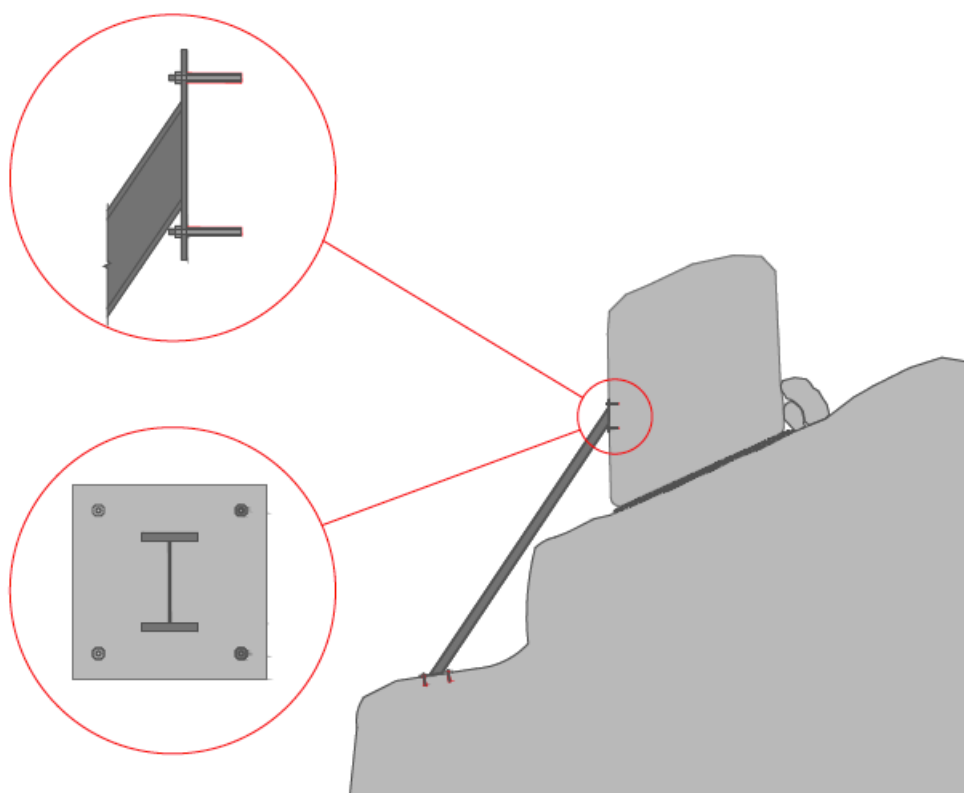


Figura 8.37 - Colocação de um perfil metálico no bloco rochoso BL1.

A barreira flexível, a instalar no sopé da vertente rochosa, a cota superior, deverá ser comum aos setores 2, 3, 4 e 5, isto é, deverá reter qualquer bloco rochoso que provenha desses setores.

Esta barreira deverá conter perfis metálicos de 6 em 6m com apoios rotulados na base e cabos colocados na parte superior, ancorados à vertente, a montante. Os apoios rotulados na base deverão encontrar-se ligados a um maciço de encabeçamento em betão armado que se deverá pregar à vertente. Os cabos, colocados na parte superior dos perfis metálicos e ancorados à vertente a montante, deverão conter um sistema de amortecimento que auxiliará na absorção de impactos. A barreira flexível, constituída, ainda, por rede e malha de aço presa a cabos longitudinais, sendo estes, por sua vez ligados aos perfis metálicos, deverá ter capacidade para suportar, pelo menos, 1000 kJ de energia.

Com o auxílio do programa de cálculo automático *“Rocfall 4.0”*, determinou-se a energia que os blocos rochosos possuem ao atingir o local de implantação da barreira flexível (Gráfico 7).

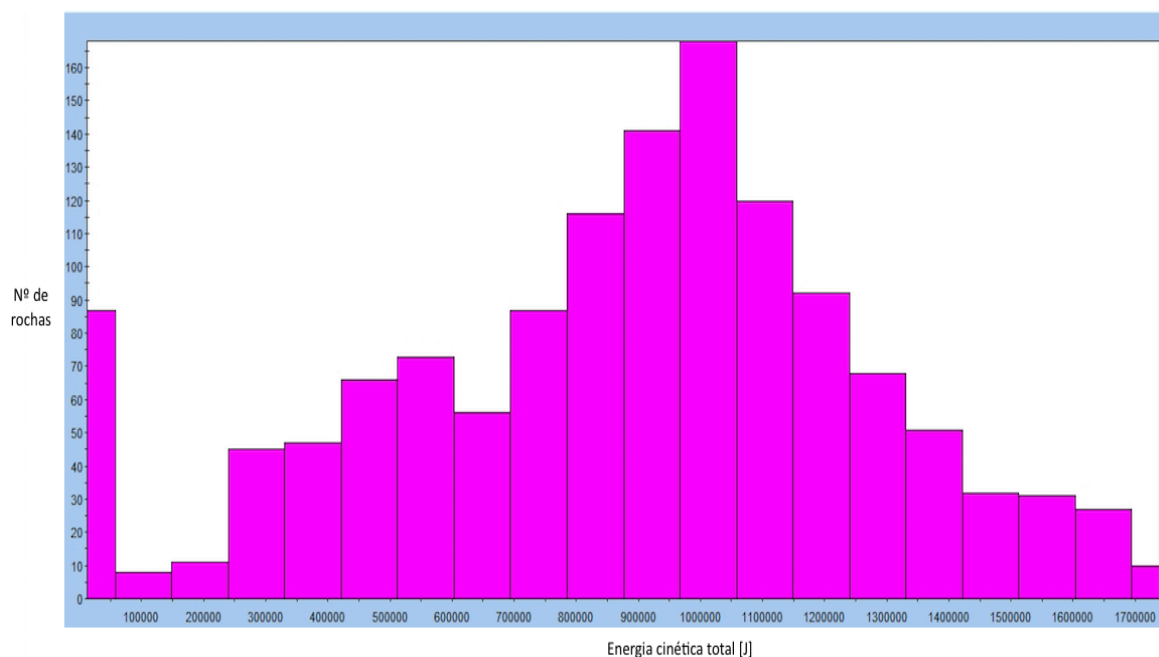


Gráfico 7 – Variação da energia cinética à chegada ao local de implantação da barreira flexível.

Das 500 rochas lançadas, verifica-se que a maioria apresenta uma energia cinética de, aproximadamente, 1000kJ.

Na Figura 8.38 e Figura 8.39 apresentam-se, respetivamente, a vista em planta da barreira e um corte transversal da barreira flexível sugerida, como solução de proteção, para a vertente de S. Simão.

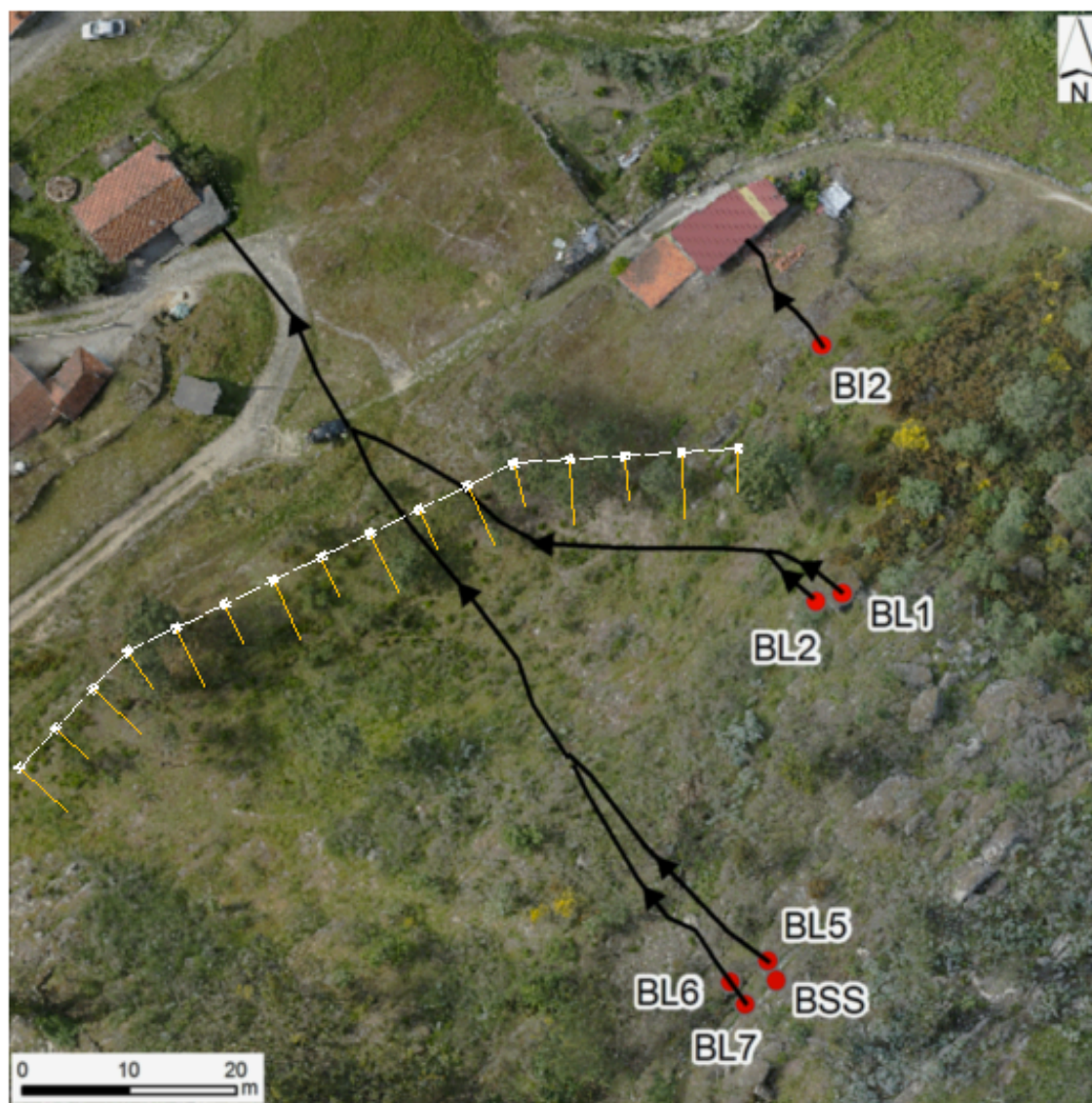


Figura 8.38 - Vista em planta das barreiras flexíveis na vertente de S. Simão.

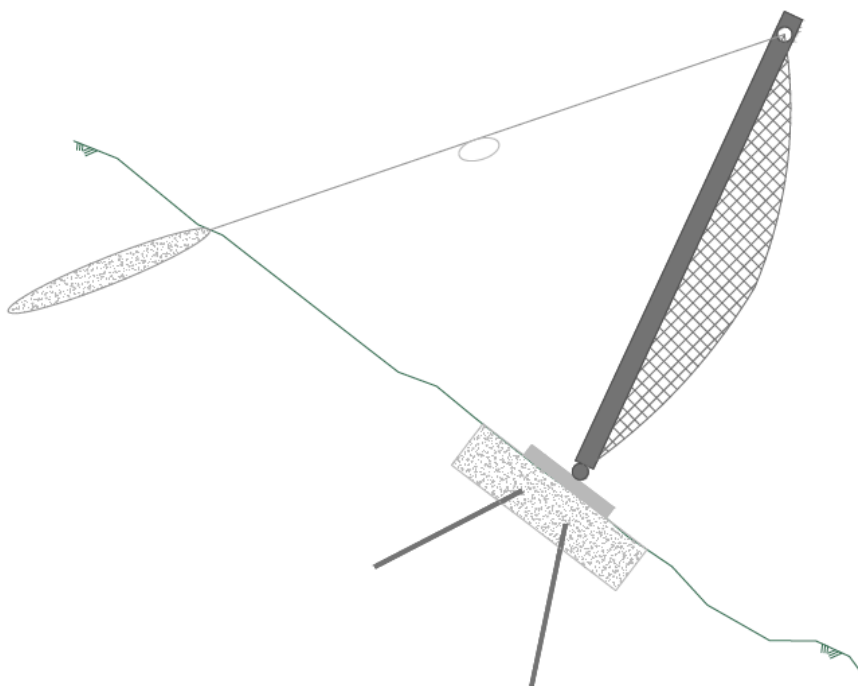


Figura 8.39 – Corte transversal da barreira flexível a colocar na vertente de S. Simão

A plantação de mais árvores e a preservação do conjunto existente permitirá criar barreiras naturais, a montante da barreira flexível, que contribuirá para o controlo da energia dos blocos rochosos que se encontrem em queda.

9 CONCLUSÕES

O presente trabalho pretendeu demonstrar todo o processo envolvido na análise da estabilidade de uma vertente rochosa, no desenvolvimento de uma metodologia de inspeção e na obtenção de uma solução de proteção e de estabilização.

Este estudo, aplicado a uma vertente situada na freguesia de S. Simão, concelho de Amarante, onde ocorreu a queda de um bloco rochoso sobre um edifício em Agosto de 2004, contou com o apoio de uma equipa multidisciplinar formada por estudantes de mestrado e docentes/investigadores do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

Inicialmente, optou-se por recolher toda a informação existente acerca da respetiva vertente, por realizar uma extensa pesquisa bibliográfica e compilar e tratar toda a informação captada, com o objetivo de estender os conhecimentos relacionados com o caso de estudo e de preparar com antecedência os trabalhos de campo.

As primeiras visitas à vertente de S. Simão efetuaram-se com o intuito de, visualmente, observar as anomalias mais comuns, avaliar as zonas mais problemáticas e identificar quais os parâmetros que deveriam constar na ficha de inspeção a definir.

Já com as fichas de inspeção desenvolvidas, realizaram-se diversas visitas ao local, com a intenção de as aferir, rever e corrigir. Definida a versão final das fichas iniciou-se a inspeção por setor e por bloco rochoso potencialmente instável. Registaram-se as respetivas anomalias e definiu-se um critério de agravamento da classificação do nível de gravidade da anomalia, associado à presença simultânea de múltiplas avarias, no mesmo bloco, com idêntico nível de gravidade. Uma vez identificados os blocos rochosos mais problemáticos, de acordo com o nível de gravidade do bloco (NGB), conceito que se propôs para a sua hierarquização, recolheram-se, com recurso a programas automáticos apropriados para o efeito, as possíveis trajetórias dos blocos rochosos em queda, para posteriormente realizar a sua modelação com o programa de cálculo automático *“Rocfall 4.0”*. A caracterização dos materiais

envolvidos recorreu a um processo de retroanálise com base na descrição, fotografias e outras evidências do incidente de 2004.

Modeladas as quedas dos blocos rochosos mais instáveis, característicos de cada setor em que se subdividiu a vertente, iniciou-se o estudo da solução de proteção e de estabilização, considerando-se diversos aspetos, nomeadamente de segurança, económico, ambiental e de impacto visual.

A utilização de barreiras flexíveis de aço garante uma maior eficiência e uma maior transparência comparativamente com a solução de um muro de gravidade, representando, deste modo, uma solução mais adequada a estes cenários e de menor impacto visual.

A plantação de mais árvores e a preservação desse conjunto e do existente resultará numa solução de proteção adicional com um excelente impacto visual e que representa uma mais valia ambiental.

A manutenção deste coberto vegetal deverá envolver a execução e a limpeza de corta-fogos que deverão ser realizados entre a vertente a proteger e a mata adjacente.

Realçam-se, assim, os aspectos mais relevantes do presente trabalho:

- desenvolveram-se duas fichas de inspeção, especialmente vocacionadas para vertentes rochosas;
- definiu-se um conjunto de anomalias associadas a vertentes rochosas e estabeleceram-se critérios para a respectiva classificação;
- propôs-se um critério de agravamento das anomalias, quando em presença da ocorrência simultânea de anomalias de idêntica gravidade;
- propôs-se um critério para a definição de um nível de gravidade do bloco;
- a vertente foi sobrevoada e fotografada por um veículo aéreo não tripulado;
- foi produzido um modelo tridimensional a partir das fotografias aéreas;
- o modelo tridimensional permitiu a definição das trajetórias dos blocos potencialmente instáveis;
- caracterizaram-se os parâmetros dos diferentes materiais identificados nas trajetórias com o recurso a um processo de retroanálise com base na descrição da queda de um bloco;

- modelaram-se as quedas de diferentes blocos potencialmente instáveis com o programa de cálculo automático “*RocFall 4.0*”;
- concebeu-se uma solução de proteção e dimensionaram-se as barreiras flexíveis a instalar.

A limitação do tempo disponível para o desenvolvimento deste trabalho impôs que algumas das tarefas programadas não tivessem sido realizadas.

A adaptação a vertentes do sistema SQI: determinação do índice de qualidade de taludes (Pinheiro et al., 2015) e a sua aplicação à vertente de S. Simão é um dos aspectos a desenvolver futuramente.

As modelações das quedas dos blocos deverão ser repetidas com a versão 5.0 do programa “*Rocfall*”, entretanto disponível. Esta versão introduz algumas novidades relativamente à versão 4.0, de que se destacam:

- a opção de análise de um corpo mecânico rígido, podendo ser considerada a forma e tamanho dos blocos.
- capacidade de gerar relatórios pormenorizados, nomeadamente das barreiras introduzidas;
- possibilidade de visualizar a trajetória dos blocos de diferentes formas, em particular, a trajetória mais problemática.

Deverá também ser repetida a verificação da estabilidade dos blocos, considerando a atuação da ação sísmica.

BIBLIOGRAFIA

- Bell F.G., 1992. Engineering in rock masses. Butterworth-Heinemann Ltd., London.
- Bieniawski Z. T., 1989. Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. Interscience, John Wiley & Sons, New York.
- Budetta P., 2004. Assessment of rockfall risk along roads. Natural Hazards and Earth System Sciences. European Geosciences Union.
- Chaminé H.I., Afonso M.J., Teixeira J., Ramos L., Fonseca L., Pinheiro R., Galiza A.C., 2013. Using engineering geosciences mapping and GIS-based tools for georesources management: lessons learned from rock quarrying. European Geologist Magazine, Journal of the European Federation of Geologists, 36: 27-33.
- Chaminé H.I., Afonso M.J., Ramos L., Pinheiro R., 2015. Scanline sampling techniques for rock engineering surveys: insights from intrinsic geologic variability and uncertainty (Chapter 61). In: Giordan D., Thuro K., Carranza-Torres C., Wu F., Marinos P., Delgado C. (eds.), Engineering Geology for Society and Territory – Applied Geology for Major Engineering Projects, IAEG, Springer, 6: 357-361.
- Chaminé H.I., Afonso M.J., Silva R., Monteiro R., Teixeira J., Moreira P., Meixedo J.P. & Trigo J.F., 2010. Da teoria à prática em geotecnia urbana de maciços rochosos: o exemplo da zona ribeirinha de Gaia. Tecnologia e Vida, Revista da Secção Regional do Norte da ANET, Porto, volume 6, pp. 39-45.
- Carvalho M. M., 2005. Elementos de apoio à disciplina de Geologia de Engenharia, Licenciatura em Engenharia Civil: Petrologia. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- de Freitas, M.H., 2009. Geology: its principles, practice and potential for geotechnics. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 42: 397-441.

- Dyminski A. S., Notas de Aula – Estabilidade de Taludes: Noções de Estabilidade de Taludes e Contenção. UFPR.
- Estradas de Portugal, S.A. Sistemas de Gestão de Conservação de Obras de Arte: Inspeções Principais Especificações Técnicas.
- Fernandes M. M., 2011. Mecânica dos Solos: Introdução à Engenharia Geotécnica. 1.^a edição. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.
- Goodman R. E. & Bray J., 1976. Toppling of rock slopes. ASCE, Proc. Specialty Conf. on Rock Eng. for Foundations and Slopes.
- Grotzinger J., Jordan T.H., Press F. & Siever R., 2010. Understanding Earth. 6th ed., W. H. Freeman and Company, New York.
- Guidicini G. & Nieble C. M., 2003. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação, 2^a edição revista e ampliada. Editora Edgard Blucher LTDA, São Paulo.
- Highland L. M. & Bobrowsky P., 2008. The landslide handbook: A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey.
- Hoek E., 2007. Practical rock engineering. RocScience: Hoek's Corner, Canada.
- Hoek E., Kaiser R.K. & Bawden W.E., 1998. Support of underground excavations in hard rock. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Hoek E. & Bray J., 1981. Rock Slope Engineering. Third edition. Inst. Mining and Metallurgy, London.
- Instituto Tecnológico Geominero de España, 1987. Manual de Ingeniería de Taludes. Ingeniería GeoAmbiental I.T.G.E., Madrid.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics, 1981. Basic geotechnical description of rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 18: 85-110.
- Llorente I. M. & Laín H. L., 2009. Riesgos geológicos: técnicas de análisis y mitigación. Rev. de la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra.

- Monteiro R., 2008. Estudo Geológico e Geotécnico de Taludes Rochosos Em S. Pedro Da Afurada (Vila Nova de Gaia): Contributos Para a Avaliação da Estabilidade Estrutural. Departamento de Engenharia Geotécnica. Instituto Superior de Engenharia do Porto (Dissertação de Mestrado).
- Montoya C. A. H., 2013. Incertezas, Vulnerabilidade e Avaliação de risco devido a deslizamentos em estradas. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia (Dissertação de Doutorado).
- Nascimento L. F. F., 2013. Contribuição ao Estudo da Estabilidade de Taludes Considerando o Efeito da Sismicidade Natural no Brasil. UFRJ/ Escola Politécnica. Rio de Janeiro.
- Pereira E., Ribeiro A., Carvalho G.S., Noronha F., Ferreira N. & Monteiro J.H., 1989. Carta Geológica de Portugal, escala 1/200000. Folha 1, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Pinheiro M., Sanches S., Miranda T., Neves A., Tinoco J., Ferreira A., Correia A. G., 2015. A new empirical system for rock slope stability analysis in exploitation stage. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 76: 182–191.
- Pinho T., 2010. Geotecnia urbana da zona ribeirinha de Vila Nova de Gaia: criação de uma base de dados SIG geotécnica. Departamento de Engenharia Geotécnica. Instituto Superior de Engenharia do Porto (Dissertação de Mestrado).
- Pinotti A. M. & Carneiro C.D.R., 2013. Geologia Estrutural na previsão e contenção de queda de blocos em encostas: aplicação no Granito Santos, SP.
- Romana M., 1997. El papel de las clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes. In: Alonso et al. (eds.), IV Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables, Granada, vol. III.
- Santos G. A. F., 2014. Soluções de Pregagens para a Estabilização de Taludes: uma Contribuição para o seu Desenvolvimento. Faculdade de Ciências e Tecnologias. Universidade Nova de Lisboa (Dissertação de Mestrado).
- Teixeira C., Fernandes A. P., Peres A. M. & Ribeiro A., 1967. Carta Geológica de Portugal, escala 1/50000. Folha 10-C (Peso da Régua), Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Tomás R., Cano M., Cañaveras J. C., Cuenca A., Delgado J., Estévez A. & Pina J. A., 2006. Nuevas funciones continuas para el cálculo del Slope Mass Rating (SMR): Aplicación mediante un sistema de

información geográfica a los taludes rochosos de una cantera. Revista de la Sociedad Geológica de España.

- Vallejo L. I. G., Ferrer M., Ortunõ L. & Oteo C., 2002. Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson - Prentice Hall.

- Varnes D. J. & Internacional Association of Engineering Geology, 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Unesco.

- Vieira, J.A., 1887. O Minho Pittoresco. Tomo II. Livraria de António Maria Pereira, Lisboa.

- Wyllie D. C. & Mah C. W., 2004. Rock Slope Engineering: Civil and Mining, Fourth Edition. CRC Press.

- Wyllie D. C., 2015. Rock FALL Engineering. CRC Press.

Eurocódigos:

- NP EN 1993-1-1 - Eurocódigo 3, 2010 – Projeto de estruturas de aço, Parte 1: Regras gerais e regras para edifícios. Comissão Europeia de Normalização.

- NP EN 1997-1 - Eurocódigo 7, 2010 – Projeto geotécnico, Parte 1: Regras gerais. Comissão Europeia de Normalização.

- NP EN 1998-1 - Eurocódigo 8, 2010 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos, Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios. Comissão Europeia de Normalização.

Sítios da Internet consultados:

- Google Earth

- Diaclases. In: <http://www.geowiki.fr>

- Muro de gabiões. In: <http://www.geradordeprecos.info>

- Barreiras flexíveis. In: <http://www.geobrugg.com>

- História de Amarante. In: <http://www.cm-amarante.pt>

- História de Amarante. In: <http://www.verportugal.net>
- Carta geológica. In: <http://www.lneg.pt>
- Tipos de ação sísmica. In: <http://www.ualg.pt>
- Sistema nacional de recursos hídricos. In: <http://www.snirh.apambiente.pt>
- Registos sísmicos. In: <http://www.ipma.pt>
- Injections in rock slopes. In: <http://www.zeminarastirma.com>
- Drains on slopes. In: <http://www.iitbhu.ac.in/faculty>
- Barreiras flexíveis. In: <http://www.metalwiremesh.net>

ANEXOS

Anexo A - Ficha de inspeção geral

Ficha de Inspeção Geral (Versão preliminar)

Tipologia

Vertente: ☒

Escarpa: ☐

Talude: ☐

Identificação

Sector:

Localização:

Carta militar nº (1:25 000)

Carta geológica nº (1:50 000)

Condições de acesso

Fácil: ☒

Difícil: ☒

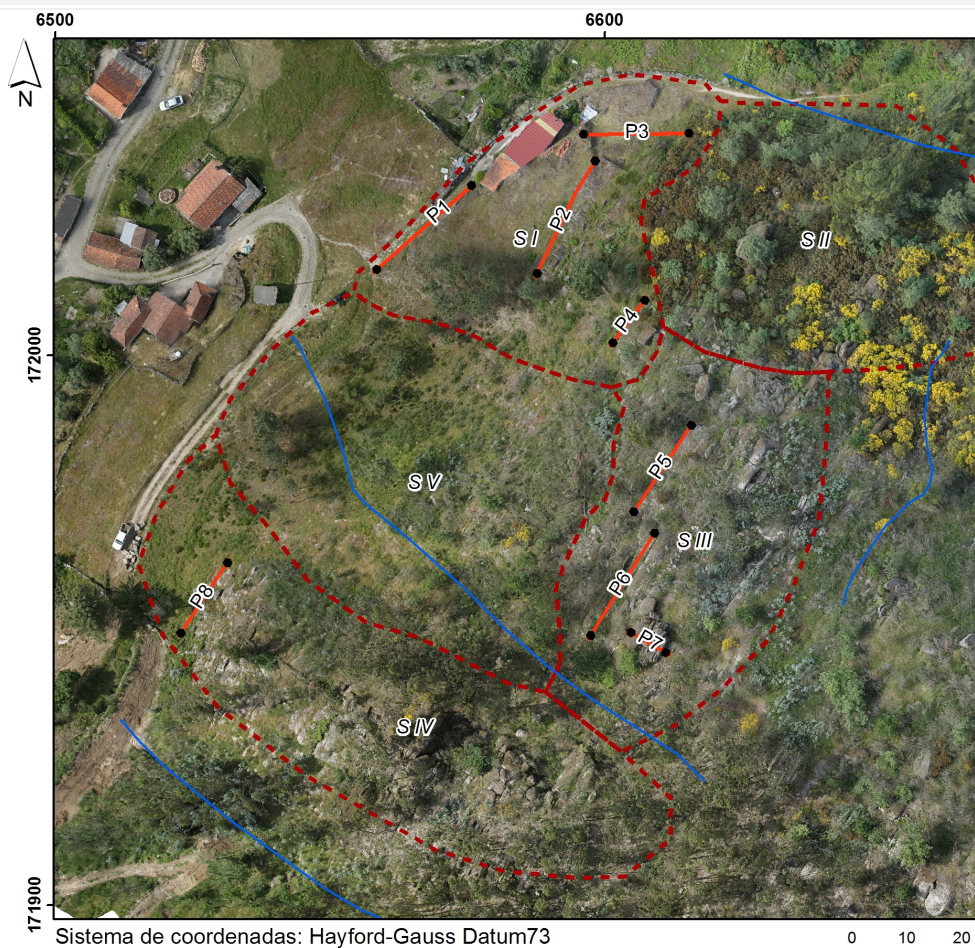
Condicionado: ☐

Inacessível: ☐

Observações:

Enquadramento

Sector em estudo:



Sistema de coordenadas: Hayford-Gauss Datum 73

0 10 20
m

Sistema de coordenadas:
Hayford-Gauss Datum 73

- Perfis de levantamento geológico-geotécnico
- ▭ Sectores
- Prováveis linhas de água (temporárias)

Geologia

Litologia: Granito porfíroide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico

Estrutura: Rede de fracturação do maciço (NW-SE; NE-SW)

Geomorfologia (T - Topo; I - Intermédio; B - Base)

Vertente (T;I;B): T, I

Escarpa (T;I;B):

Talude (T;I;B):

Hidroclimatologia

Temperatura média do ar (°C):

29

Data:

27/07/2015

Hora:

12:30:00

Humidade relativa (%):

19

Amplitude térmica máxima diária (°C)

24

Média Diária:

17

Média Anual:

13

Precipitação máxima diária (mm)

3

Média Diária:

0

Média Anual:

1122

Observações:

Rede hidrográfica

Permanente:

Temporária:

X

Inexistente:

Área da bacia (m2)

6000

Observações:

Caracterização geométrica

Orientação:

NW-SE

Altura (m):

70

Declive (°):

35 - 45°

Extensão (m):

120

Área de exposição (m2):

9000

Cobertura vegetal

Herbácea (Dispersa):

X

Arbustiva (Dispersa):

X

Arbórea (Dispersa):

X

Herbácea (Densa):

X

Arbustiva (Densa):

X

Arbórea (Densa):

Inexistente:

X

Presença de água

Superficial:

X

Fluxo:

Gotejante:

Húmido:

X

Seco:

Nascente:

Nº:

0

Caudal médio (L/s):

0

Fotografias



Setor em estudo:

Vertente



Data da inspeção:

Início: 21/05/2015

Fim: 27/07/2015

Preenchido: JT, LF, CP, RM

Data: 27/07/2015

Verificado: HIC, JCT

Data: 30/09/2015

Anexo B - Ficha de inspeção por bloco rochoso (potencialmente instável)

Ficha de Inspeção
(por bloco potencialmente instável)

Data de inspeção: **Início:** 15/07/2015 **Fim:** 24/07/2015
Preenchido: Carlos Pacheco **Data:** 15/07/2015
Verificado: JCT **Data:** 10/09/2015

Identificação

ID Bloco: 1 **Sector:** 1 **Coordenadas (Hayford-Gauss Datum73):** X: 6586,97
Designação: BI1 Y: 17202,82

Condições

Meteorológicas: Céu limpo: X
Parcialmente nublado: -
Nublado: -
Chuva: -
Acesso: Directo: X
Binóculos: -
Inacessível: -

Caracterização

Forma: Esférica **Dimensão (cm):** c=115; l=70; h=70
Litologia: Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico
Grau de alteração (W): W2 **Grau de fracturação (F):** - **Classe de resistência (S):** -

Não isolado: - **Isolado:** X

Não isolado

Descontinuidades: Abertas: - Preenchidas: - Material de preenchimento: -
Não preenchidas: -
Fechadas: - **Orientação:** -
Com presença de água: -
Sem presença de água: -

Tipo de instabilidade potencial: Cunha: - Toppling: -
Planar: - Desprendimento: -

Isolado

Superfície de apoio: Solo: X Rocha: - Rocha esmagada: -
Inclinação aproximada (°): 30
Com vegetação: X Sem vegetação: -
Com escoamento de água: - Sem escoamento de água: X

Localização - Fotografias



a



b



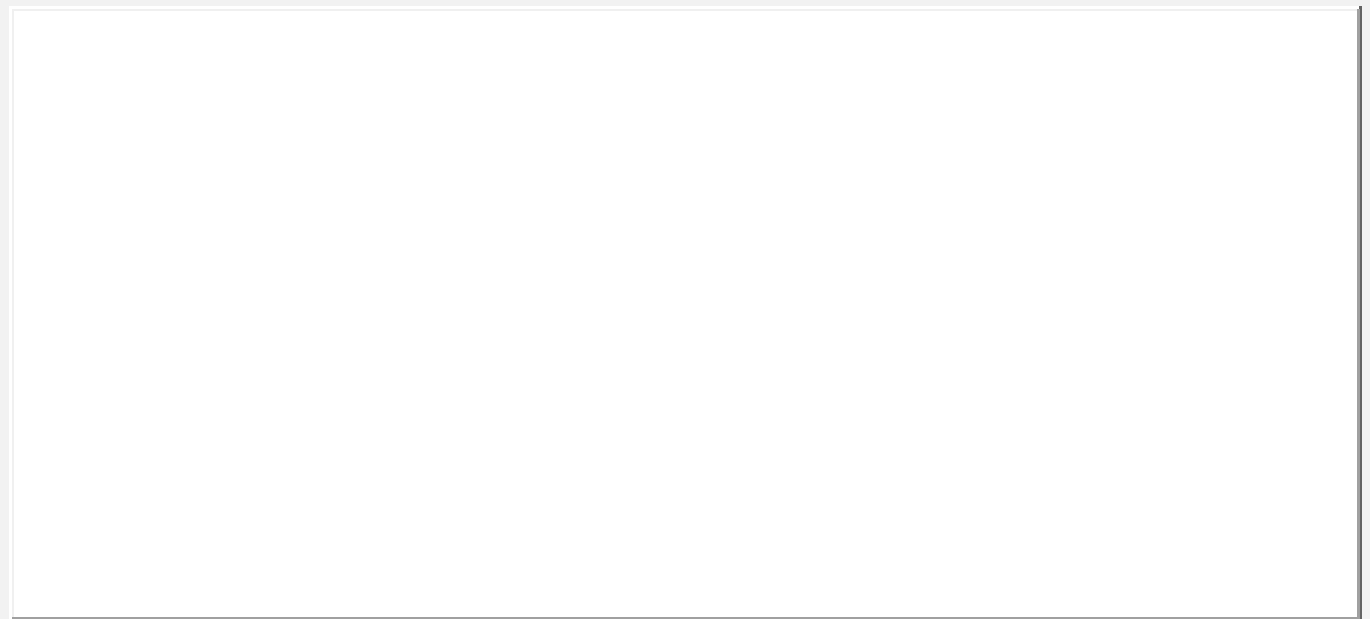
c



d

Legenda:

Trajectória do bloco - corte transversal



Anomalias

Presença de
descontinuidades (1):

-

Abertura das
descontinuidades (2):

-

Descalçamento (3):

-

Presença de vegetação com
efeito instabilizador (4):

-

Deslocamento dos blocos (5):

-

Outro (8):

Presença de blocos com efeito
instabilizador (sobrecarga) (6):

-

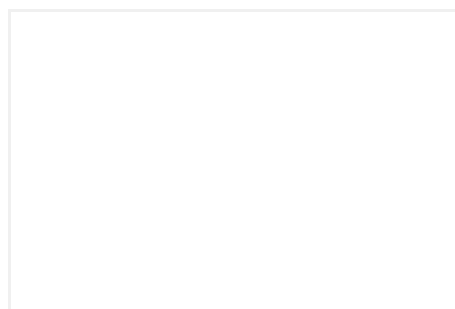
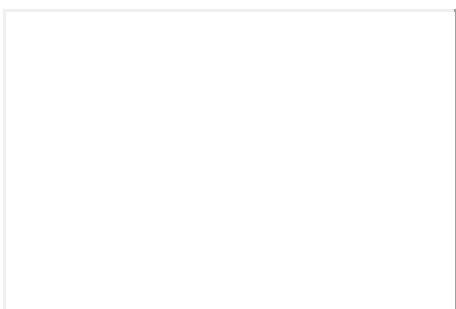
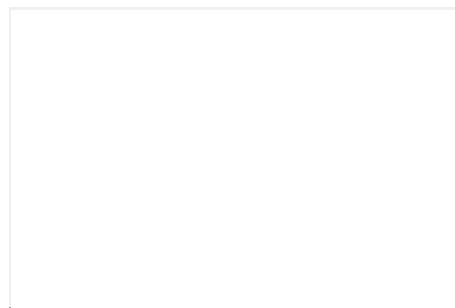
Presença de água nas descontinuidades
ou na base dos blocos (7):

-

Inclinação excessiva

Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
8					
0	Pouco grave <input type="checkbox"/>	Limitado e estável <input checked="" type="checkbox"/>	<50% do admissível <input type="checkbox"/>	Local <input checked="" type="checkbox"/>	2
1	Grave <input checked="" type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input type="checkbox"/>	>50% do admissível <input checked="" type="checkbox"/>	Global <input type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
-					
0	Pouco grave	Limitado e estável	<50% do admissível	Local	
1	Grave	Significativo ou em evolução	>50% do admissível	Global	

Fotografias ou esquemas interpretativos

NGA - Nível de gravidade da anomalia

	Caracterização do bloco		Nível de instabilidade potencial	Caracterização da superfície da trajectória		Anomalia	NGB
	Peso	Forma		Inclinação	Cobertura com solo	NGA	
1	Reduzido	Planar	Reduzido	<30°	>60%		
2	Médio	Paralelepípedica	Médio	>30° e <60°	>20% e <60%	2	13
3	Elevado	Esférica	Elevado	>60°	<20%		

NGB - Nível de gravidade do bloco (5 a 19)

Ficha de Inspeção
(por bloco potencialmente instável)

Data de inspeção: **Início:** 15/07/2015 **Fim:** 24/07/2015
Preenchido: Carlos Pacheco **Data:** 15/07/2015
Verificado: JCT **Data:** 10/09/2015

Identificação

ID Bloco: 2 **Sector:** 1 **Coordenadas (Hayford-Gauss Datum73):** X: 6599,88
Designação: BI2 Y: 172027,38

Condições

Meteorológicas: **Céu limpo:** X **Acesso:** **Directo:** X
Parcialmente nublado: - **Binóculos:** -
Nublado: - **Inacessível:** -
Chuva: -

Caracterização

Forma: Paralelepípedica **Dimensão (cm):** c=120; l=75; h=135
Litologia: Granito porfírido, de grão grosseiro, essencialmente biotítico
Grau de alteração (W): W2 **Grau de fracturação (F):** - **Classe de resistência (S):** -

Não isolado: - **Isolado:** X

Não isolado

Descontinuidades: **Abertas:** - **Preenchidas:** - **Material de preenchimento:** -
Não preenchidas: -
Fechadas: - **Orientação:** -
Com presença de água: -
Sem presença de água: -

Tipo de instabilidade potencial: **Cunha:** - **Toppling:** -
Planar: - **Desprendimento:** -

Isolado

Superfície de apoio: **Solo:** - **Rocha:** X **Rocha esmagada:** -
Inclinação aproximada (°): 40
Com vegetação: - **Sem vegetação:** X
Com escoamento de água: - **Sem escoamento de água:** X

Localização - Fotografias



a



b



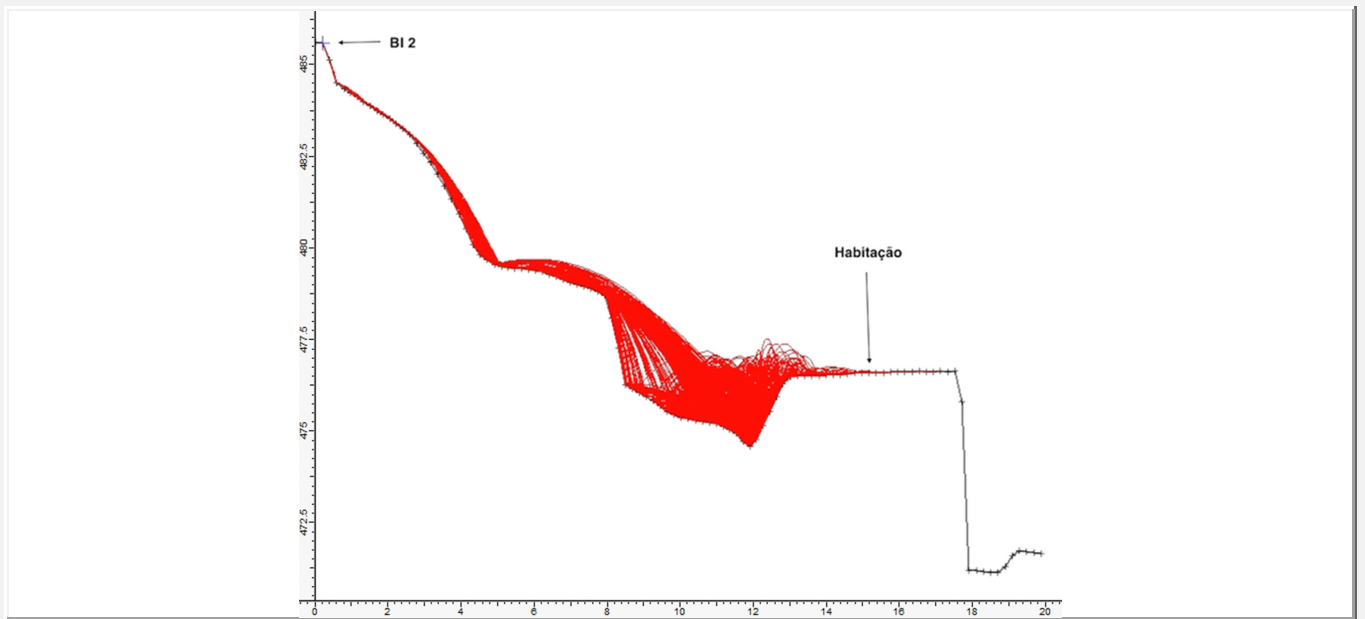
c



d

Legenda:

Trajectória do bloco - corte transversal



Anomalias

Presença de
descontinuidades (1):

Abertura das
descontinuidades (2):

Descalçamento (3):

Presença de vegetação com
efeito instabilizador (4):

Deslocamento dos blocos (5):

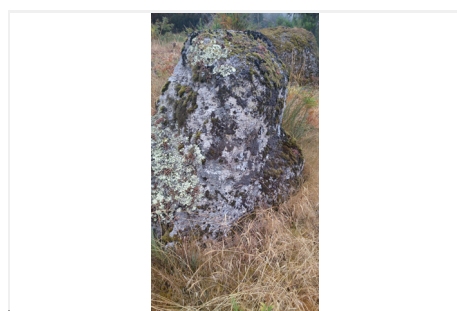
Outro (8):

Presença de blocos com efeito
instabilizador (sobrecarga) (6):

Presença de água nas descontinuidades
ou na base dos blocos (7):

Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
8					
0	Pouco grave <input type="text" value="-"/>	Limitado e estável <input type="text" value="X"/>	<50% do admissível <input type="text" value="-"/>	Local <input type="text" value="X"/>	<input type="text" value="2"/>
1	Grave <input type="text" value="X"/>	Significativo ou em evolução <input type="text" value="-"/>	>50% do admissível <input type="text" value="X"/>	Global <input type="text" value="-"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
-					
0	Pouco grave	Limitado e estável	<50% do admissível	Local	
1	Grave	Significativo ou em evolução	>50% do admissível	Global	

Fotografias ou esquemas interpretativos

NGA - Nível de gravidade da anomalia

	Caracterização do bloco		Nível de instabilidade potencial	Caracterização da superfície da trajectória		Anomalia	NGB
	Peso	Forma		Inclinação	Cobertura com solo	NGA	
1	Reduzido	Planar	Reduzido	<30°	>60%		
2	Médio	Paralelepípedica	Médio	>30° e <60°	>20% e <60%	2	14
3	Elevado	Esférica	Elevado	>60°	<20%		

NGB - Nível de gravidade do bloco (5 a 19)

Ficha de Inspeção
(por bloco potencialmente instável)

Data de inspeção: **Início:** 22/07/2015 **Fim:** 24/07/2015
Preenchido: Carlos Pacheco **Data:** 22/07/2015
Verificado: JCT **Data:** 10/09/2015

Identificação

ID Bloco: 4 **Sector:** 3 **Coordenadas (Hayford-Gauss Datum73):** X: 6605,62
Designação: BI4 Y: 171974,79

Condições

Meteorológicas: **Céu limpo:** X **Acesso:** **Directo:** X
Parcialmente nublado: - **Binóculos:** -
Nublado: - **Inacessível:** -
Chuva: -

Caracterização

Forma: Esférica **Dimensão (cm):** c=35; l=30; h=70
Litologia: Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico
Grau de alteração (W): W2 **Grau de fracturação (F):** - **Classe de resistência (S):** -

Não isolado: - **Isolado:** X

Não isolado

Descontinuidades: **Abertas:** - **Preenchidas:** - **Material de preenchimento:** -
Não preenchidas: -
Fechadas: - **Orientação:** -
Com presença de água: -
Sem presença de água: -

Tipo de instabilidade potencial: **Cunha:** - **Toppling:** -
Planar: - **Desprendimento:** -

Isolado

Superfície de apoio: **Solo:** X **Rocha:** - **Rocha esmagada:** -
Inclinação aproximada (°): 35
Com vegetação: X **Sem vegetação:** -
Com escoamento de água: - **Sem escoamento de água:** X

Localização - Fotografias



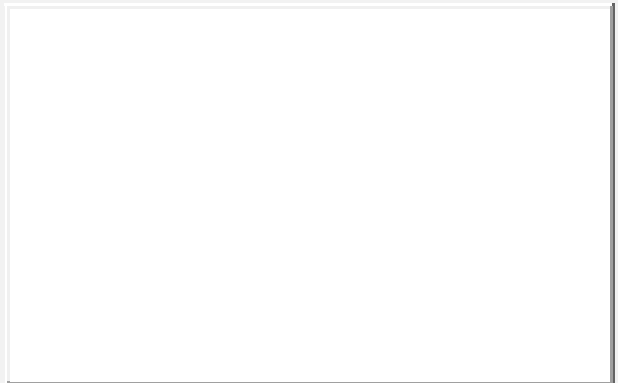
a



b



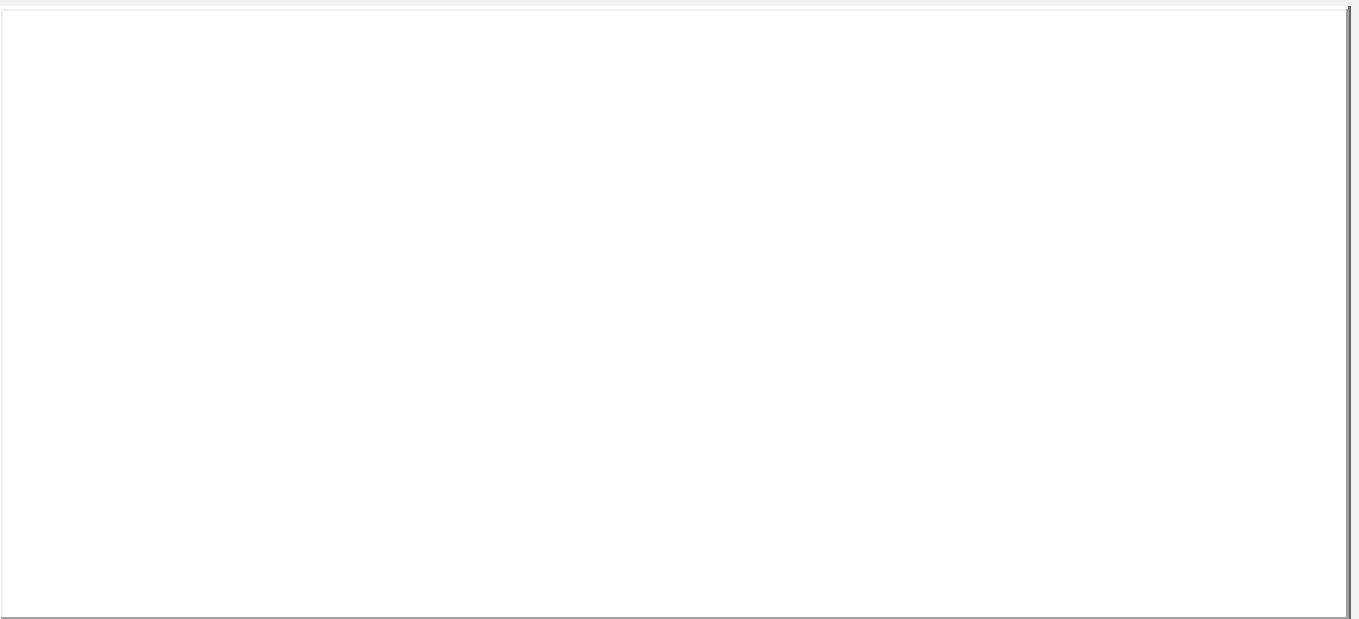
c



d

Legenda:

Trajectória do bloco - corte transversal



Anomalias

Presença de
descontinuidades (1):

Abertura das
descontinuidades (2):

Descalçamento (3):

Presença de vegetação com
efeito instabilizador (4):

Deslocamento dos blocos (5):

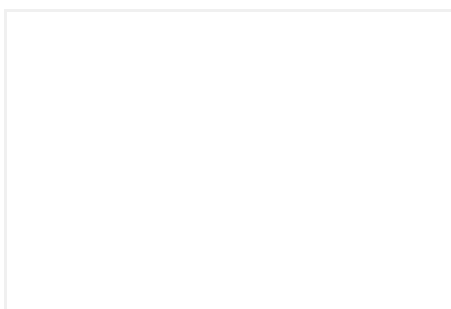
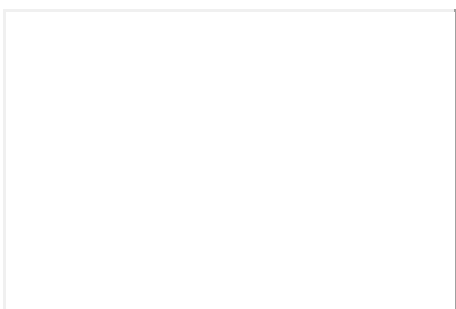
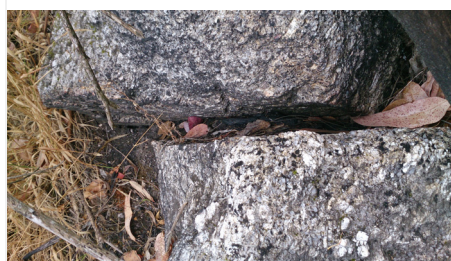
Outro (8):

Presença de blocos com efeito
instabilizador (sobrecarga) (6):

Presença de água nas descontinuidades
ou na base dos blocos (7):

Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
6					
0	Pouco grave <input type="text" value="-"/>	Limitado e estável <input type="text" value="-"/>	<50% do admissível <input type="text" value="-"/>	Local <input type="text" value="X"/>	<input type="text" value="3"/>
1	Grave <input type="text" value="X"/>	Significativo ou em evolução <input type="text" value="X"/>	>50% do admissível <input type="text" value="X"/>	Global <input type="text" value="-"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
-					
0	Pouco grave	Limitado e estável	<50% do admissível	Local	
1	Grave	Significativo ou em evolução	>50% do admissível	Global	

Fotografias ou esquemas interpretativos

NGA - Nível de gravidade da anomalia

	Caracterização do bloco		Nível de instabilidade potencial	Caracterização da superfície da trajectória		Anomalia	NGB
	Peso	Forma		Inclinação	Cobertura com solo	NGA	
1	Reduzido	Planar	Reduzido	<30°	>60%		
2	Médio	Paralelepípedica	Médio	>30° e <60°	>20% e <60%	3	14
3	Elevado	Esférica	Elevado	>60°	<20%		

NGB - Nível de gravidade do bloco (5 a 19)

Ficha de Inspeção
(por bloco potencialmente instável)

Data de inspeção: **Início:** 22/07/2015 **Fim:** 24/07/2015
Preenchido: Carlos Pacheco **Data:** 22/07/2015
Verificado: JCT **Data:** 10/09/2015

Identificação

ID Bloco: 5 **Sector:** 3 **Coordenadas (Hayford-Gauss Datum73):** X: -
Designação: BI5 Y: -

Condições

Meteorológicas: **Céu limpo:** X **Acesso:** **Directo:** X
Parcialmente nublado: - **Binóculos:** -
Nublado: - **Inacessível:** -
Chuva: -

Caracterização

Forma: Paralelepípedica **Dimensão (cm):** c=190; l=130; h=80
Litologia: Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico
Grau de alteração (W): W2 **Grau de fracturação (F):** - **Classe de resistência (S):** -

Não isolado: - **Isolado:** X

Não isolado

Descontinuidades: **Abertas:** - **Preenchidas:** - **Material de preenchimento:** -
Não preenchidas: -
Fechadas: - **Orientação:** -
Com presença de água: -
Sem presença de água: -

Tipo de instabilidade potencial: **Cunha:** - **Toppling:** -
Planar: - **Desprendimento:** -

Isolado

Superfície de apoio: **Solo:** X **Rocha:** - **Rocha esmagada:** -
Inclinação aproximada (°): 35
Com vegetação: X **Sem vegetação:** -
Com escoamento de água: - **Sem escoamento de água:** X

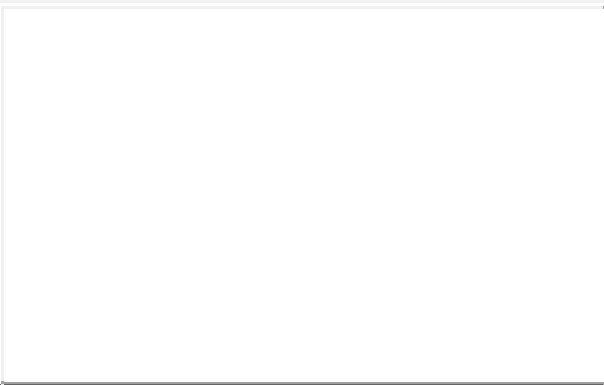
Localização - Fotografias



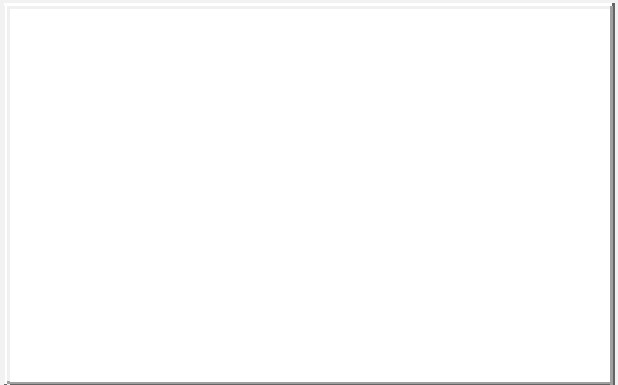
a



b



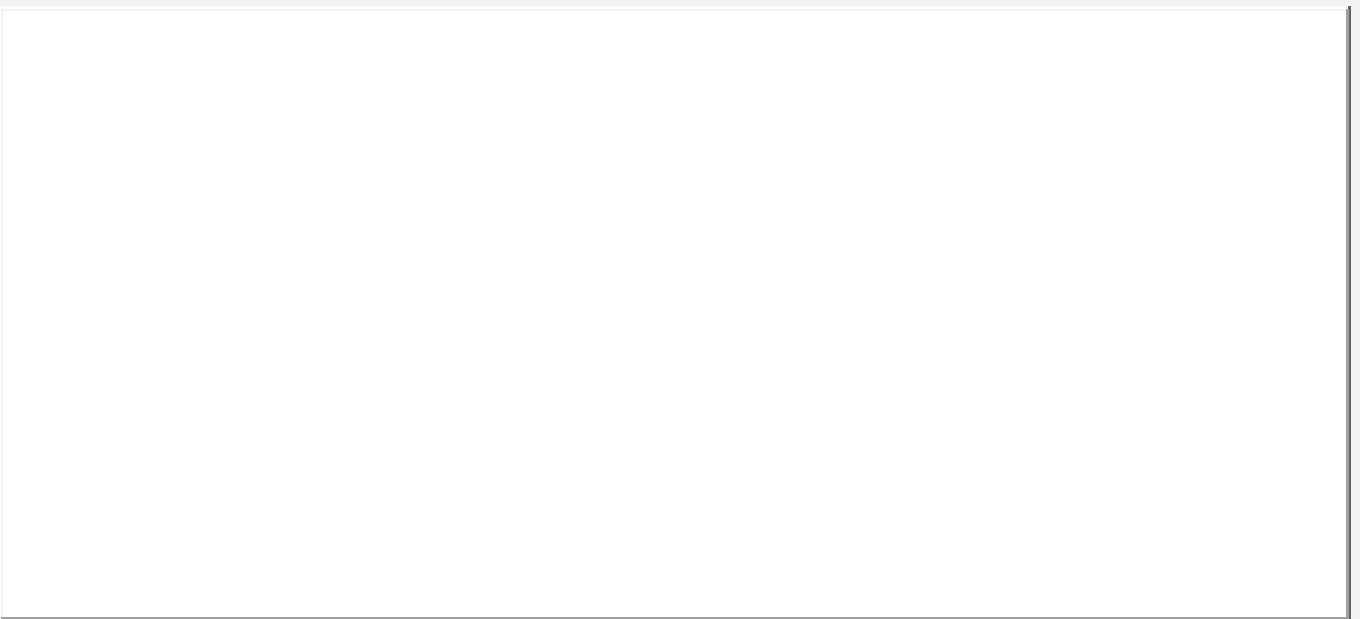
c



d

Legenda:

Trajectória do bloco - corte transversal



Anomalias

Presença de
descontinuidades (1):

-

Abertura das
descontinuidades (2):

-

Descalçamento (3):

X

Presença de vegetação com
efeito instabilizador (4):

X

Deslocamento dos blocos (5):

-

Outro (8):

-

Presença de blocos com efeito
instabilizador (sobrecarga) (6):

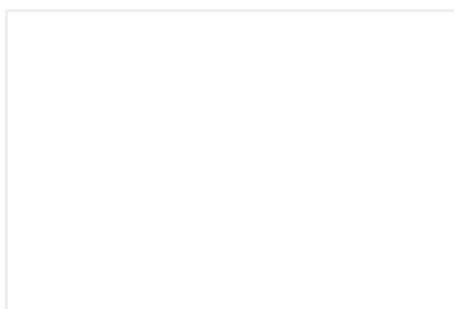
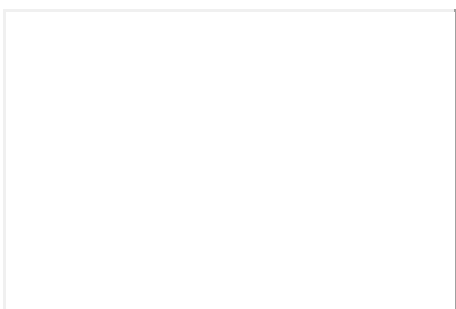
-

Presença de água nas descontinuidades
ou na base dos blocos (7):

-

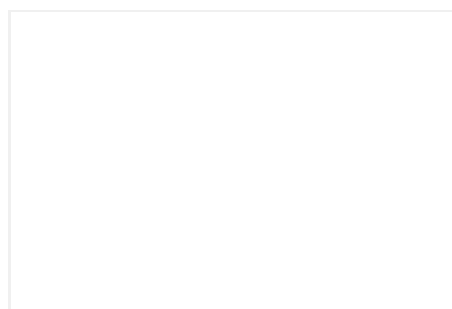
Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
3					
0	Pouco grave	Limitado e estável	<50% do admissível	Local	2
1	Grave	Significativo ou em evolução	>50% do admissível	Global	

Fotografias ou esquemas interpretativos



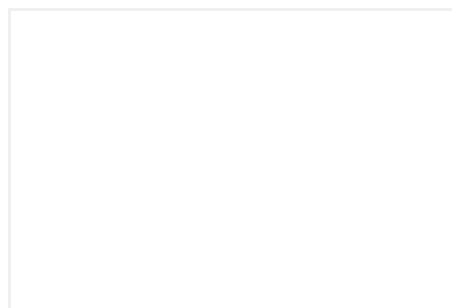
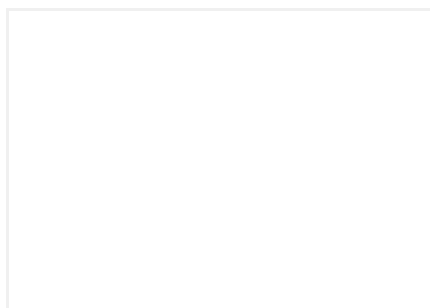
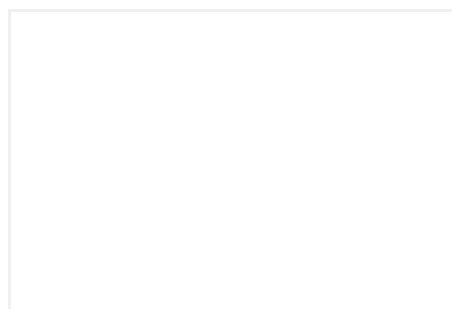
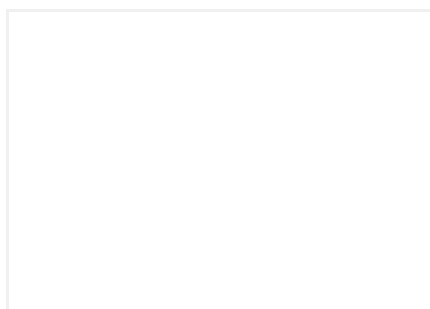
Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
4					
0	Pouco grave <input type="checkbox"/>	Limitado e estável <input type="checkbox"/>	<50% do admissível <input type="checkbox"/>	Local <input checked="" type="checkbox"/>	3
1	Grave <input checked="" type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input checked="" type="checkbox"/>	>50% do admissível <input checked="" type="checkbox"/>	Global <input type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
-					
0	Pouco grave <input type="checkbox"/>	Limitado e estável <input type="checkbox"/>	<50% do admissível <input type="checkbox"/>	Local <input type="checkbox"/>	-
1	Grave <input type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input type="checkbox"/>	>50% do admissível <input type="checkbox"/>	Global <input type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
-					
0	Pouco grave	Limitado e estável	<50% do admissível	Local	
1	Grave	Significativo ou em evolução	>50% do admissível	Global	

Fotografias ou esquemas interpretativos

NGA - Nível de gravidade da anomalia

	Caracterização do bloco		Nível de instabilidade potencial	Caracterização da superfície da trajectória		Anomalia	NGB
	Peso	Forma		Inclinação	Cobertura com solo	NGA	
1	Reduzido	Planar	Reduzido	<30°	>60%		
2	Médio	Paralelepípedica	Médio	>30° e <60°	>20% e <60%	3	13
3	Elevado	Esférica	Elevado	>60°	<20%		

NGB - Nível de gravidade do bloco (5 a 19)

Ficha de Inspeção
(por bloco potencialmente instável)

Data de inspeção: **Início:** 13/07/2015 **Fim:** 24/07/2015
Preenchido: Carlos Pacheco **Data:** 13/07/2015
Verificado: JCT **Data:** 10/09/2015

Identificação

ID Bloco: 6 **Sector:** 2 **Coordenadas (Hayford-Gauss Datum73):** X: 6607,17
Designação: BL1 Y: 172003,15

Condições

Meteorológicas: **Céu limpo:** X **Acesso:** **Directo:** X
Parcialmente nublado: - **Binóculos:** -
Nublado: - **Inacessível:** -
Chuva: -

Caracterização

Forma: Paralelepípedica **Dimensão (cm):** c=360; l=200; h=200
Litologia: Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico
Grau de alteração (W): W2 **Grau de fracturação (F):** - **Classe de resistência (S):** -

Não isolado: X **Isolado:** -

Não isolado

Descontinuidades: **Abertas:** X **Preenchidas:** X **Material de preenchimento:** Solo; terra vegetal
Não preenchidas: -
Fechadas: - **Orientação:** -
Com presença de água: -
Sem presença de água: X
Tipo de instabilidade potencial: **Cunha:** - **Toppling:** X
Planar: - **Desprendimento:** -

Isolado

Superfície de apoio: **Solo:** - **Rocha:** - **Rocha esmagada:** -
Inclinação aproximada (°): -
Com vegetação: - **Sem vegetação:** -
Com escoamento de água: - **Sem escoamento de água:** -

Localização - Fotografias



a



b



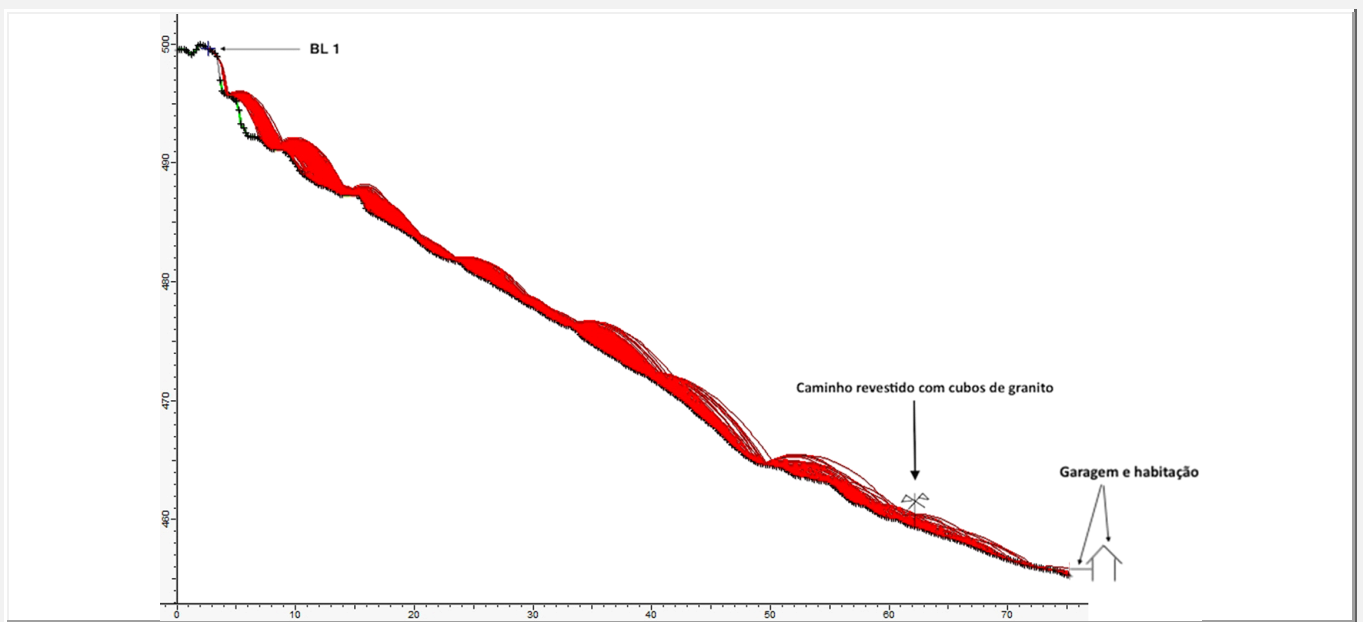
c



d

Legenda:

Trajectória do bloco - corte transversal



Anomalias

Presença de
descontinuidades (1): ☒

Abertura das
descontinuidades (2): ☐

Descalçamento (3): ☐

Presença de vegetação com
efeito instabilizador (4): ☐

Deslocamento dos blocos (5): ☐

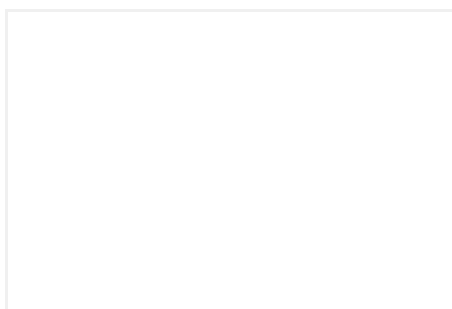
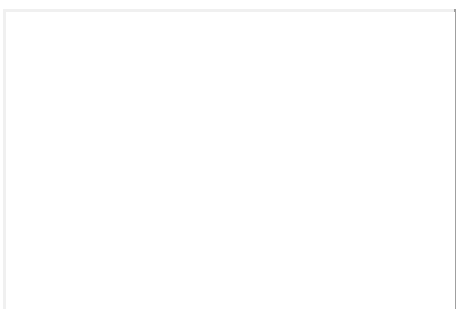
Outro (8):

Presença de blocos com efeito
instabilizador (sobrecarga) (6): ☒

Presença de água nas descontinuidades
ou na base dos blocos (7): ☐

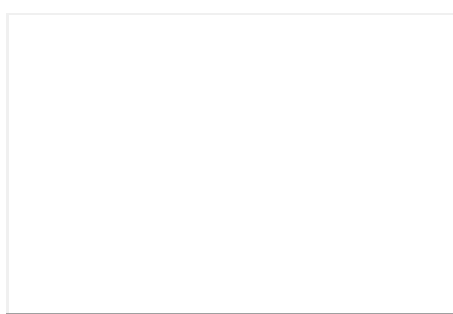
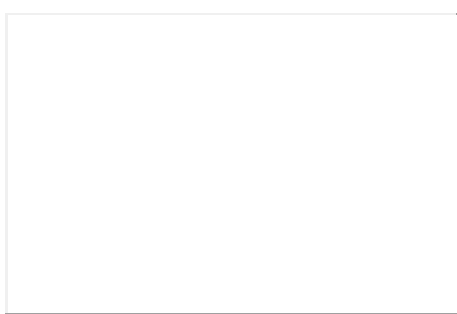
Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
1	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
0	Pouco grave <input checked="" type="checkbox"/>	Limitado e estável <input checked="" type="checkbox"/>	<50% do admissível <input checked="" type="checkbox"/>	Local <input checked="" type="checkbox"/>	0
1	Grave <input type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input type="checkbox"/>	>50% do admissível <input type="checkbox"/>	Global <input type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



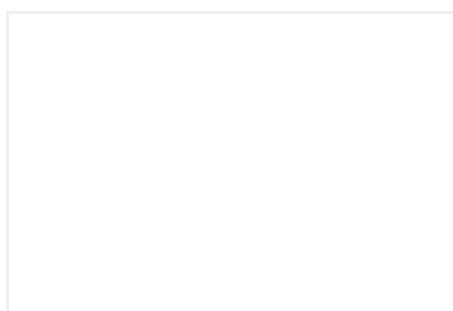
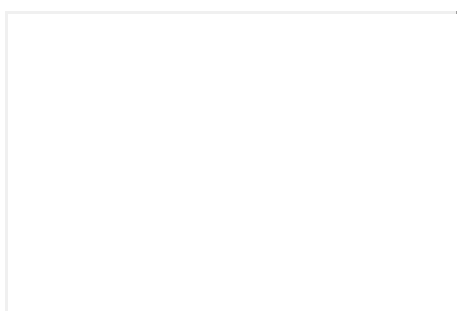
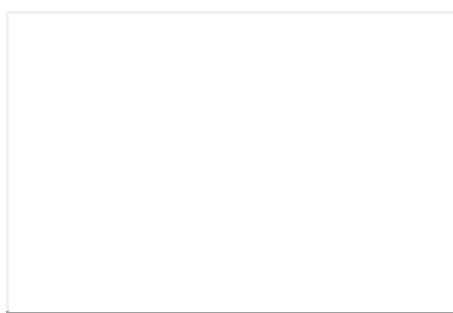
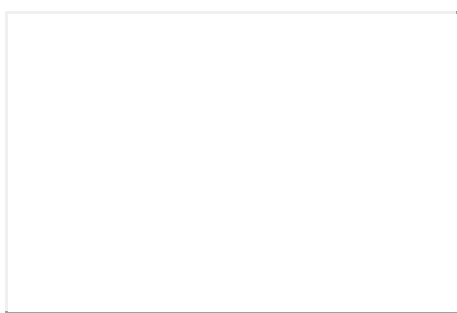
Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
6					
0	Pouco grave <input checked="" type="checkbox"/>	Limitado e estável <input checked="" type="checkbox"/>	<50% do admissível <input checked="" type="checkbox"/>	Local <input checked="" type="checkbox"/>	0
1	Grave <input type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input type="checkbox"/>	>50% do admissível <input type="checkbox"/>	Global <input type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
-					
0	Pouco grave <input type="checkbox"/>	Limitado e estável <input type="checkbox"/>	<50% do admissível <input type="checkbox"/>	Local <input type="checkbox"/>	-
1	Grave <input type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input type="checkbox"/>	>50% do admissível <input type="checkbox"/>	Global <input type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
-					
0	Pouco grave	Limitado e estável	<50% do admissível	Local	
1	Grave	Significativo ou em evolução	>50% do admissível	Global	

Fotografias ou esquemas interpretativos

NGA - Nível de gravidade da anomalia

	Caracterização do bloco		Nível de instabilidade potencial	Caracterização da superfície da trajectória		Anomalia	NGB
	Peso	Forma		Inclinação	Cobertura com solo	NGA	
1	Reduzido	Planar	Reduzido	<30°	>60%		
2	Médio	Paralelepípedica	Médio	>30° e <60°	>20% e <60%	0	11
3	Elevado	Esférica	Elevado	>60°	<20%		

NGB - Nível de gravidade do bloco (5 a 19)

Ficha de Inspeção
(por bloco potencialmente instável)

Data de inspeção: **Início:** 15/07/2015 **Fim:** 24/07/2015
Preenchido: Carlos Pacheco **Data:** 15/07/2015
Verificado: JCT **Data:** 10/09/2015

Identificação

ID Bloco: 7 **Setor:** 2 **Coordenadas (Hayford-Gauss Datum73):** X: 6602,83
Designação: BL2 Y: 172000,55

Condições

Meteorológicas: **Céu limpo:** X **Acesso:** **Directo:** X
Parcialmente nublado: - **Binóculos:** -
Nublado: - **Inacessível:** -
Chuva: -

Caracterização

Forma: Paralelepípedica **Dimensão (cm):** c=210; l=110; h=110
Litologia: Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico
Grau de alteração (W): W2 **Grau de fracturação (F):** - **Classe de resistência (S):** -

Não isolado: X **Isolado:** -

Não isolado

Descontinuidades: **Abertas:** X **Preenchidas:** X **Material de preenchimento:** Solo; vegetação; fragmentos de rocha
Não preenchidas: -
Fechadas: - **Orientação:** -
Com presença de água: -
Sem presença de água: X

Tipo de instabilidade potencial: **Cunha:** - **Toppling:** X
Planar: - **Desprendimento:** -

Isolado

Superfície de apoio: **Solo:** - **Rocha:** - **Rocha esmagada:** -
Inclinação aproximada (°): -
Com vegetação: - **Sem vegetação:** -
Com escoamento de água: - **Sem escoamento de água:** -

Localização - Fotografias



a



b



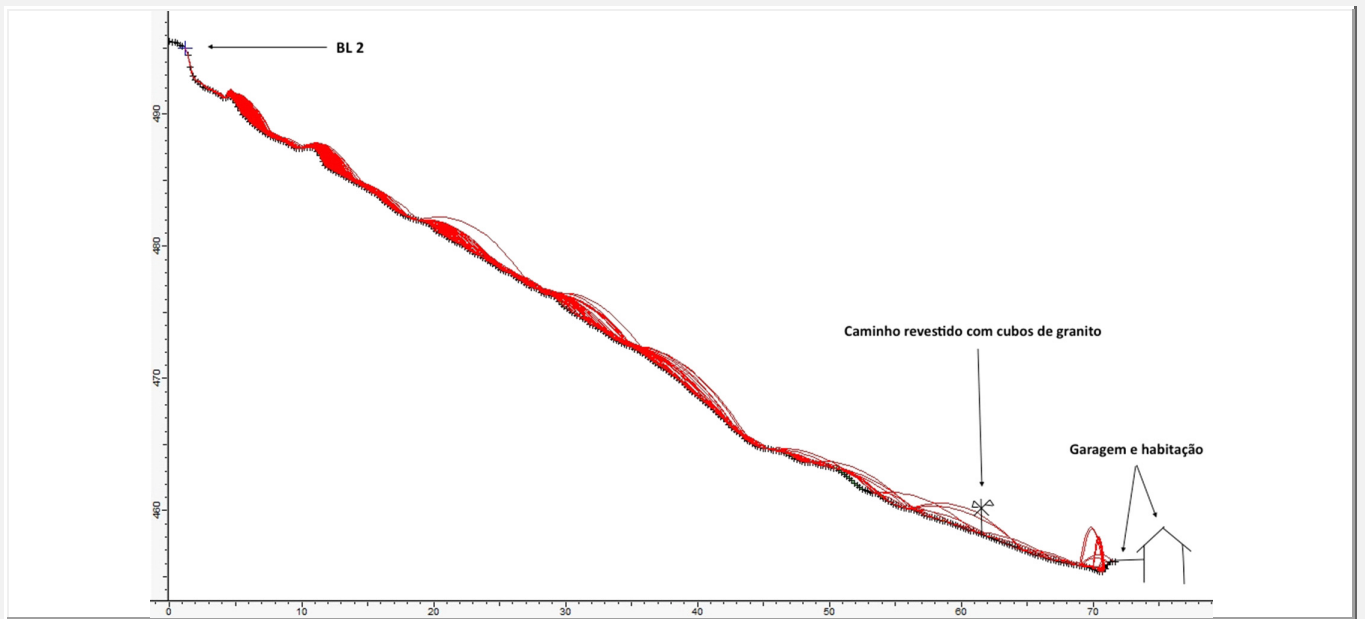
c



d

Legenda:

Trajectória do bloco - corte transversal



Anomalias

Presença de
descontinuidades (1): ☒

Abertura das
descontinuidades (2): ☒

Descalçamento (3): ☐

Presença de vegetação com
efeito instabilizador (4): ☒

Deslocamento dos blocos (5): ☐

Outro (8):

Presença de blocos com efeito
instabilizador (sobrecarga) (6): ☐

Presença de água nas descontinuidades
ou na base dos blocos (7): ☐

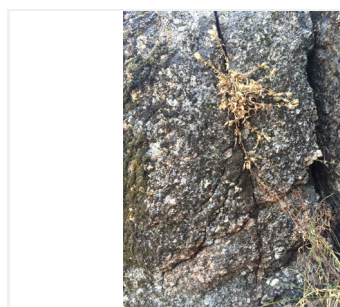
Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
1					
0	Pouco grave <input type="checkbox"/>	Limitado e estável <input type="checkbox"/>	<50% do admissível <input checked="" type="checkbox"/>	Local <input checked="" type="checkbox"/>	2
1	Grave <input checked="" type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input checked="" type="checkbox"/>	>50% do admissível <input type="checkbox"/>	Global <input type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



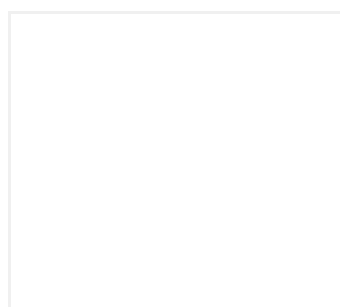
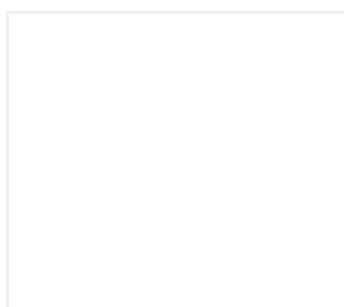
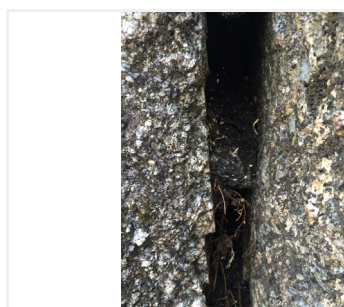
Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
2					
0	Pouco grave <input type="checkbox"/>	Limitado e estável <input type="checkbox"/>	<50% do admissível <input type="checkbox"/>	Local <input checked="" type="checkbox"/>	3
1	Grave <input checked="" type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input checked="" type="checkbox"/>	>50% do admissível <input checked="" type="checkbox"/>	Global <input type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
4					
0	Pouco grave <input checked="" type="checkbox"/>	Limitado e estável <input checked="" type="checkbox"/>	<50% do admissível <input checked="" type="checkbox"/>	Local <input checked="" type="checkbox"/>	0
1	Grave <input type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input type="checkbox"/>	>50% do admissível <input type="checkbox"/>	Global <input type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
-					
0	Pouco grave	Limitado e estável	<50% do admissível	Local	-
1	Grave	Significativo ou em evolução	>50% do admissível	Global	

Fotografias ou esquemas interpretativos

NGA - Nível de gravidade da anomalia

	Caracterização do bloco		Nível de instabilidade potencial	Caracterização da superfície da trajectória		Anomalia	NGB
	Peso	Forma		Inclinação	Cobertura com solo	NGA	
1	Reduzido	Planar	Reduzido	<30°	>60%	3	14
2	Médio	Paralelepípedica	Médio	>30° e <60°	>20% e <60%		
3	Elevado	Esférica	Elevado	>60°	<20%		

NGB - Nível de gravidade do bloco (5 a 19)

Ficha de Inspeção
(por bloco potencialmente instável)

Data de inspeção: **Início:** 22/07/2015 **Fim:** 24/07/2015
Preenchido: Carlos Pacheco **Data:** 22/07/2015
Verificado: JCT **Data:** 10/09/2015

Identificação

ID Bloco: 9 **Sector:** 1 **Coordenadas (Hayford-Gauss Datum73):** X: 6603,40
Designação: BL4 Y: 172034,82

Condições

Meteorológicas: **Céu limpo:** - **Acesso:** **Directo:** X
Parcialmente nublado: X **Binóculos:** -
Nublado: - **Inacessível:** -
Chuva: -

Caracterização

Forma: Paralelepípedica **Dimensão (cm):** c=125; l=75; h=110
Litologia: Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico
Grau de alteração (W): W2 **Grau de fracturação (F):** - **Classe de resistência (S):** -

Não isolado: X

Isolado: -

Não isolado

Descontinuidades: **Abertas:** X **Preenchidas:** - **Material de preenchimento:** -
Não preenchidas: X
Fechadas: - **Orientação:** -
Com presença de água: -
Sem presença de água: X

Tipo de instabilidade potencial: **Cunha:** X **Toppling:** -
Planar: - **Desprendimento:** -

Isolado

Superfície de apoio: **Solo:** - **Rocha:** - **Rocha esmagada:** -
Inclinação aproximada (°): -
Com vegetação: - **Sem vegetação:** -
Com escoamento de água: - **Sem escoamento de água:** -

Localização - Fotografias



a



b



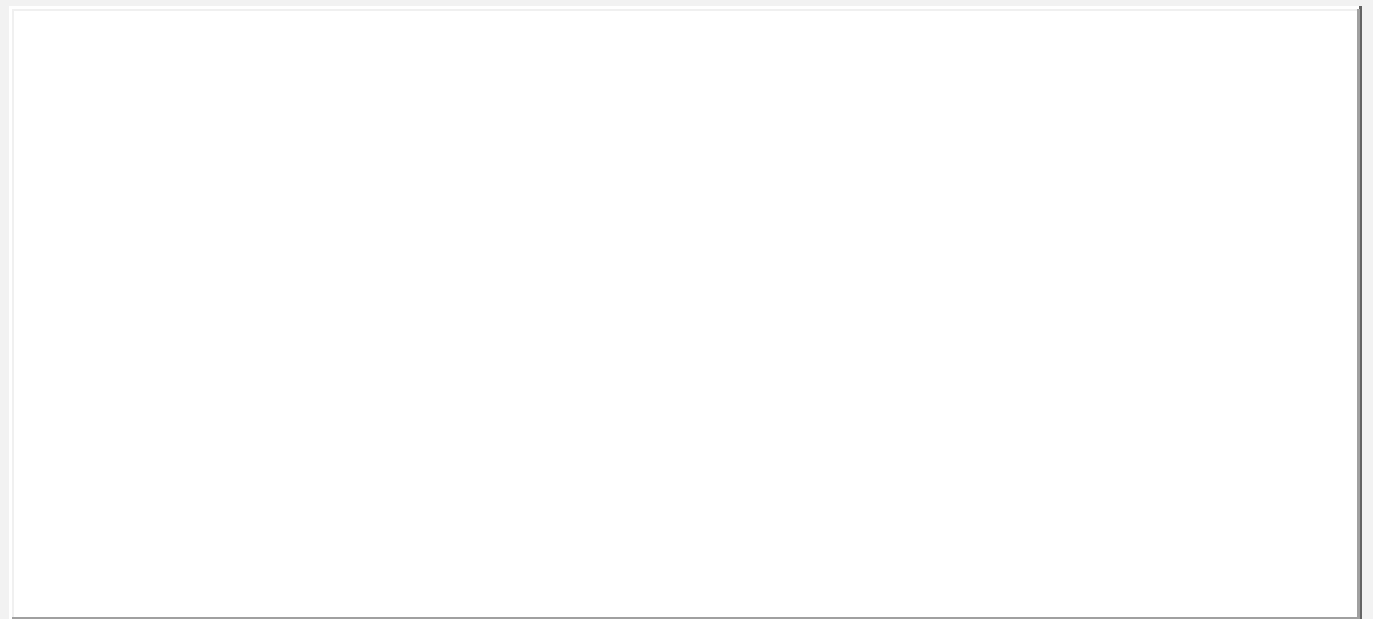
c



d

Legenda:

Trajectória do bloco - corte transversal



Anomalias

Presença de
descontinuidades (1):

Abertura das
descontinuidades (2):

Descalçamento (3):

Presença de vegetação com
efeito instabilizador (4):

Deslocamento dos blocos (5):

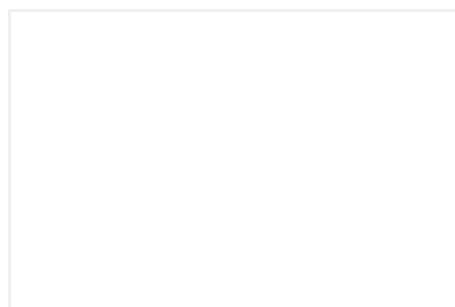
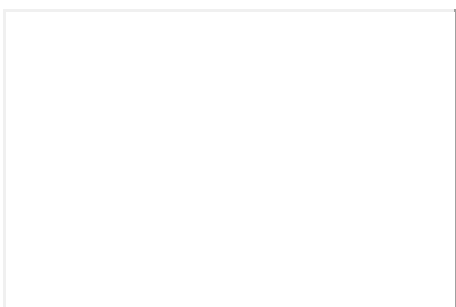
Outro (8):

Presença de blocos com efeito
instabilizador (sobrecarga) (6):

Presença de água nas descontinuidades
ou na base dos blocos (7):

Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
4					
0	Pouco grave <input type="text" value="X"/>	Limitado e estável <input type="text" value="-"/>	<50% do admissível <input type="text" value="X"/>	Local <input type="text" value="X"/>	<input type="text" value="1"/>
1	Grave <input type="text" value="-"/>	Significativo ou em evolução <input type="text" value="X"/>	>50% do admissível <input type="text" value="-"/>	Global <input type="text" value="-"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
-					
0	Pouco grave	Limitado e estável	<50% do admissível	Local	
1	Grave	Significativo ou em evolução	>50% do admissível	Global	

Fotografias ou esquemas interpretativos

NGA - Nível de gravidade da anomalia

	Caracterização do bloco		Nível de instabilidade potencial	Caracterização da superfície da trajectória		Anomalia	NGB
	Peso	Forma		Inclinação	Cobertura com solo	NGA	
1	Reduzido	Planar	Reduzido	<30°	>60%		
2	Médio	Paralelepípedica	Médio	>30° e <60°	>20% e <60%	1	11
3	Elevado	Esférica	Elevado	>60°	<20%		

NGB - Nível de gravidade do bloco (5 a 19)

Ficha de Inspeção
(por bloco potencialmente instável)

Data de inspeção: **Início:** 24/07/2015 **Fim:** 24/07/2015
Preenchido: Carlos Pacheco **Data:** 24/07/2015
Verificado: JCT **Data:** 10/09/2015

Identificação

ID Bloco: 10 **Setor:** 3 **Coordenadas (Hayford-Gauss Datum73):** X: 6606,42
Designação: BL5 Y: 171964,30

Condições

Meteorológicas: **Céu limpo:** - **Acesso:** **Directo:** X
Parcialmente nublado: - **Binóculos:** -
Nublado: X **Inacessível:** -
Chuva: -

Caracterização

Forma: Paralelepípedica **Dimensão (cm):** c=100; l=100; h=300
Litologia: Granito porfíroide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico
Grau de alteração (W): W2 **Grau de fracturação (F):** - **Classe de resistência (S):** -

Não isolado: X

Isolado: -

Não isolado

Descontinuidades: **Abertas:** X **Preenchidas:** X **Material de preenchimento:** Solo; fragmentos de rocha
Não preenchidas: -
Fechadas: - **Orientação:** -
Com presença de água: -
Sem presença de água: X

Tipo de instabilidade potencial: **Cunha:** - **Toppling:** X
Planar: - **Desprendimento:** -

Isolado

Superfície de apoio: **Solo:** - **Rocha:** - **Rocha esmagada:** -
Inclinação aproximada (°): -
Com vegetação: - **Sem vegetação:** -
Com escoamento de água: - **Sem escoamento de água:** -

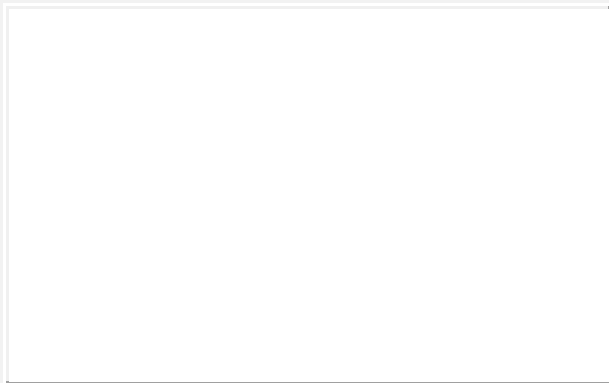
Localização - Fotografias



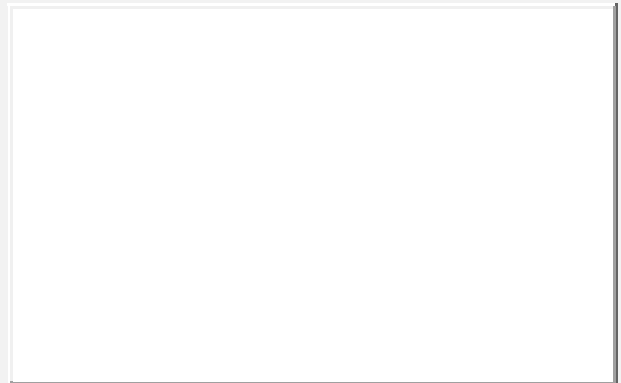
a



b



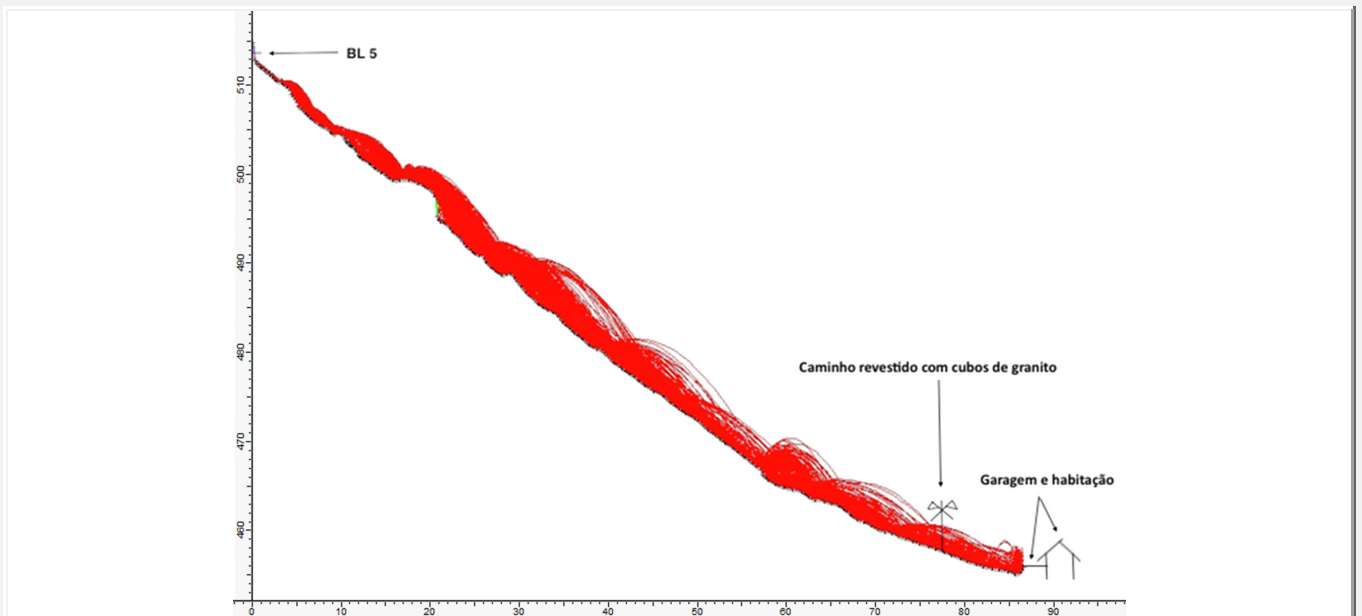
c



d

Legenda:

Trajectória do bloco - corte transversal



Anomalias

Presença de
descontinuidades (1): ☒

Abertura das
descontinuidades (2): ☒

Descalçamento (3): ☐

Presença de vegetação com
efeito instabilizador (4): ☐

Deslocamento dos blocos (5): ☐

Outro (8):

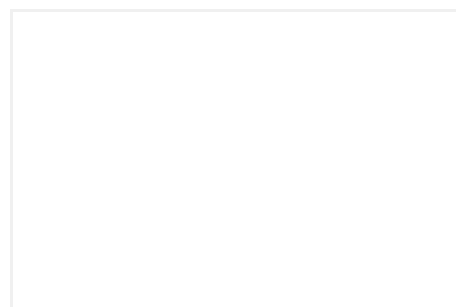
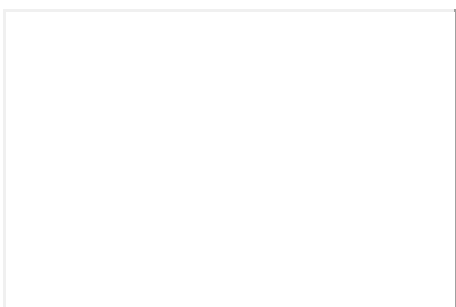
Presença de blocos com efeito
instabilizador (sobrecarga) (6): ☒

Presença de água nas descontinuidades
ou na base dos blocos (7): ☐

Inclinação excessiva

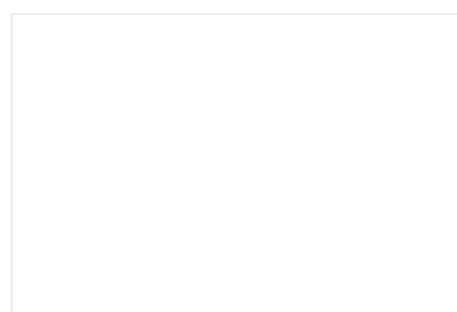
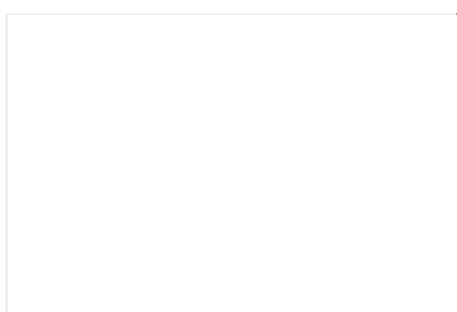
Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
1	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
0	Pouco grave <input type="checkbox"/>	Limitado e estável <input type="checkbox"/>	<50% do admissível <input checked="" type="checkbox"/>	Local <input type="checkbox"/>	3
1	Grave <input checked="" type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input checked="" type="checkbox"/>	>50% do admissível <input type="checkbox"/>	Global <input checked="" type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



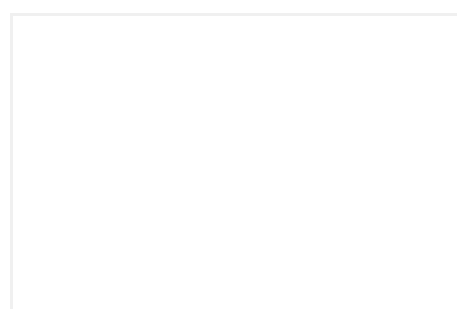
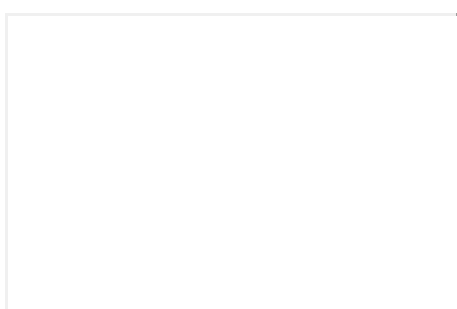
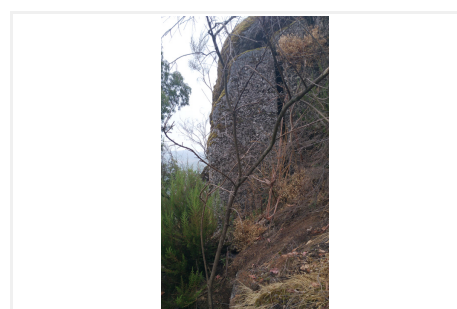
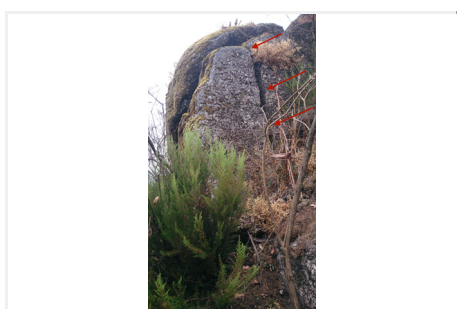
Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
2					
0	Pouco grave <input type="checkbox"/>	Limitado e estável <input type="checkbox"/>	<50% do admissível <input type="checkbox"/>	Local <input type="checkbox"/>	4
1	Grave <input checked="" type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input checked="" type="checkbox"/>	>50% do admissível <input checked="" type="checkbox"/>	Global <input checked="" type="checkbox"/>	









Fotografias ou esquemas interpretativos



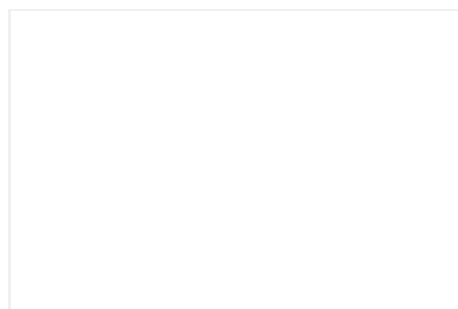
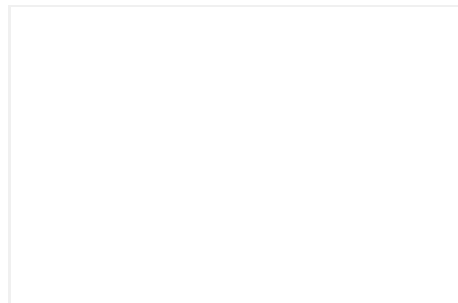
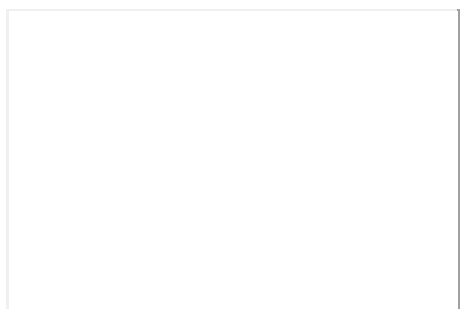
Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
6					
0	Pouco grave <input type="checkbox"/>	Limitado e estável <input type="checkbox"/>	<50% do admissível <input checked="" type="checkbox"/>	Local <input type="checkbox"/>	3
1	Grave <input checked="" type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input checked="" type="checkbox"/>	>50% do admissível <input type="checkbox"/>	Global <input checked="" type="checkbox"/>	









Fotografias ou esquemas interpretativos



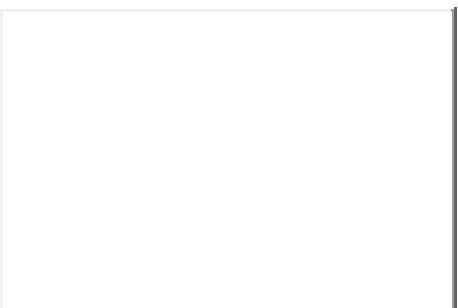
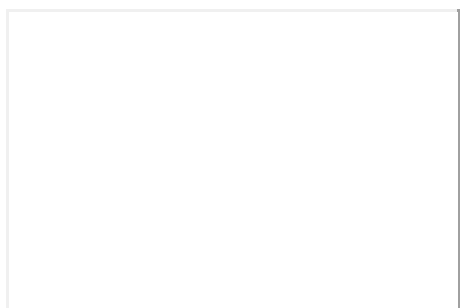
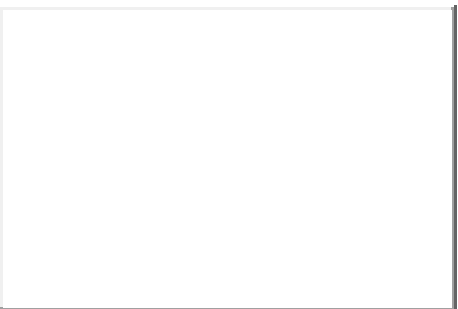
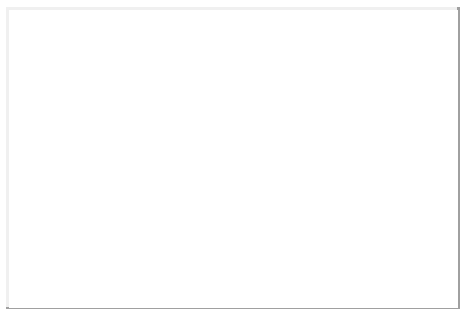
Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
8					
0	Pouco grave 	Limitado e estável 	<50% do admissível 	Local 	4
1	Grave 	Significativo ou em evolução 	>50% do admissível 	Global 	

Fotografias ou esquemas interpretativos



Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
-					
0	Pouco grave 	Limitado e estável 	<50% do admissível 	Local 	-
1	Grave 	Significativo ou em evolução 	>50% do admissível 	Global 	

Fotografias ou esquemas interpretativos



Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
-					
0	Pouco grave	Limitado e estável	<50% do admissível	Local	
1	Grave	Significativo ou em evolução	>50% do admissível	Global	

Fotografias ou esquemas interpretativos

NGA - Nível de gravidade da anomalia

	Caracterização do bloco		Nível de instabilidade potencial	Caracterização da superfície da trajectória		Anomalia	NGB
	Peso	Forma		Inclinação	Cobertura com solo	NGA	
1	Reduzido	Planar	Reduzido	<30°	>60%		
2	Médio	Paralelepípedica	Médio	>30° e <60°	>20% e <60%	4	16
3	Elevado	Esférica	Elevado	>60°	<20%		

NGB - Nível de gravidade do bloco (5 a 19)

Ficha de Inspeção
(por bloco potencialmente instável)

Data de inspeção: **Início:** 24/07/2015 **Fim:** 24/07/2015
Preenchido: Carlos Pacheco **Data:** 24/07/2015
Verificado: JCT **Data:** 10/09/2015

Identificação

ID Bloco: 11 **Sector:** 3 **Coordenadas (Hayford-Gauss Datum73):** X: 6603,06
Designação: BL6 Y: 171960,75

Condições

Meteorológicas: **Céu limpo:** - **Acesso:** **Directo:** X
Parcialmente nublado: - **Binóculos:** -
Nublado: X **Inacessível:** -
Chuva: -

Caracterização

Forma: Planar **Dimensão (cm):** c=300; l=50; h=250
Litologia: Granito porfíroide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico
Grau de alteração (W): W2 **Grau de fracturação (F):** - **Classe de resistência (S):** -

Não isolado: X **Isolado:** -

Não isolado

Descontinuidades: **Abertas:** X **Preenchidas:** - **Material de preenchimento:** -
Não preenchidas: X
Fechadas: - **Orientação:** -
Com presença de água: -
Sem presença de água: X

Tipo de instabilidade potencial: **Cunha:** - **Toppling:** X
Planar: - **Desprendimento:** -

Isolado

Superfície de apoio: **Solo:** - **Rocha:** - **Rocha esmagada:** -
Inclinação aproximada (°): -
Com vegetação: - **Sem vegetação:** -
Com escoamento de água: - **Sem escoamento de água:** -

Localização - Fotografias



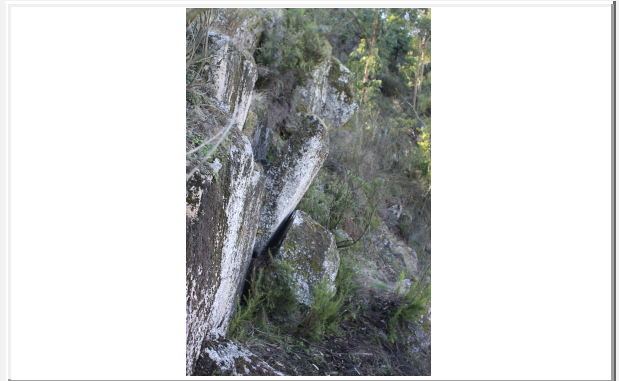
a



b



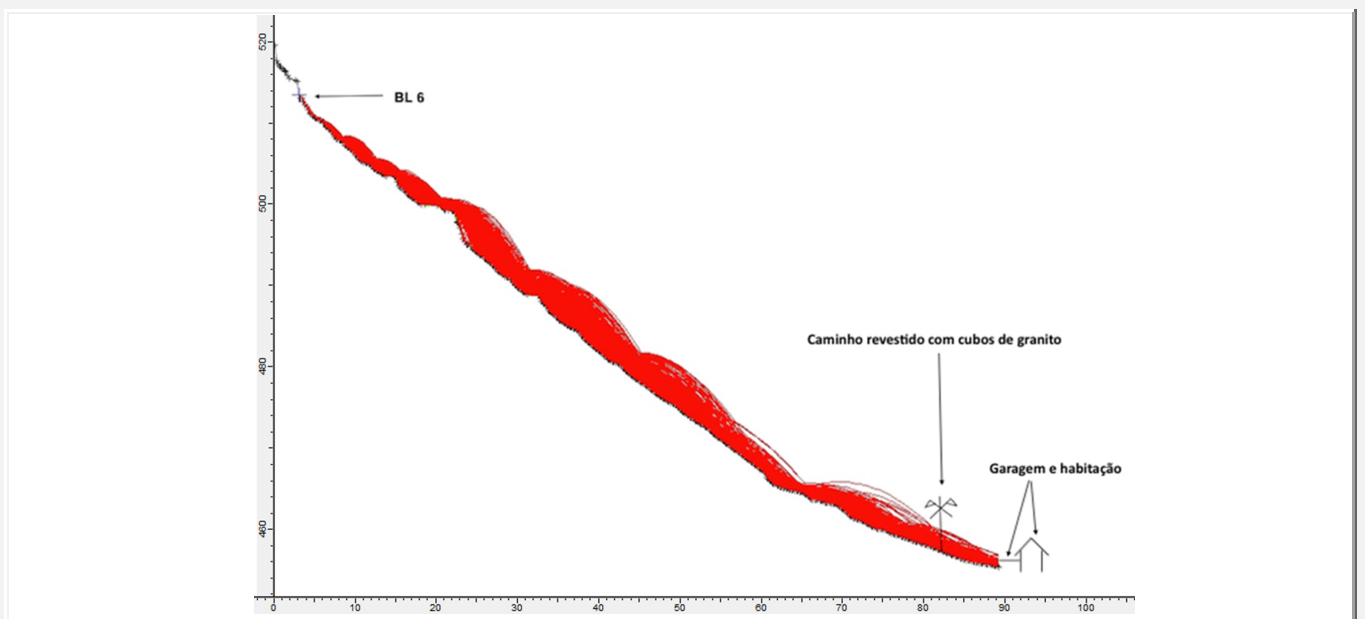
c



d

Legenda:

Trajectória do bloco - corte transversal



Anomalias

Presença de
descontinuidades (1): ☒

Abertura das
descontinuidades (2): ☒

Descalçamento (3): ☐

Presença de vegetação com
efeito instabilizador (4): ☐

Deslocamento dos blocos (5): ☐

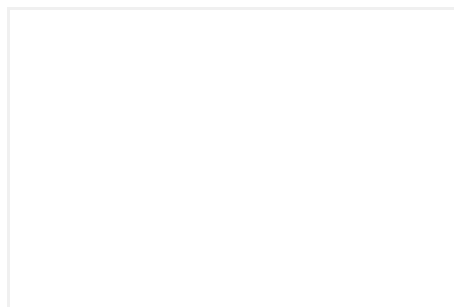
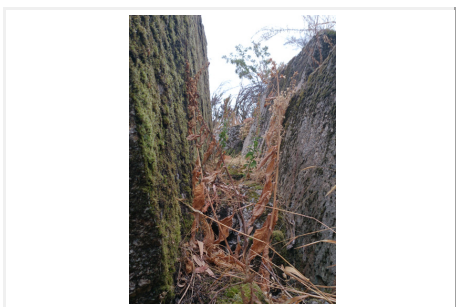
Outro (8):

Presença de blocos com efeito
instabilizador (sobrecarga) (6): ☒

Presença de água nas descontinuidades
ou na base dos blocos (7): ☐

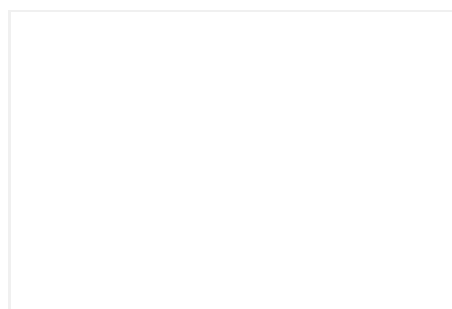
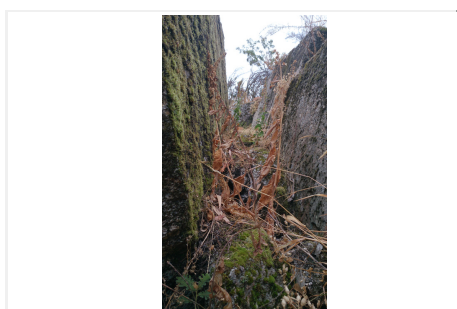
Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
1					
0	Pouco grave <input type="checkbox"/>	Limitado e estável <input type="checkbox"/>	<50% do admissível <input checked="" type="checkbox"/>	Local <input type="checkbox"/>	3
1	Grave <input checked="" type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input checked="" type="checkbox"/>	>50% do admissível <input type="checkbox"/>	Global <input checked="" type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



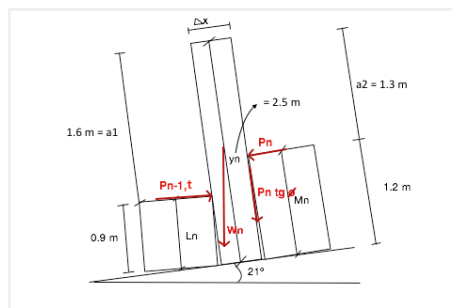
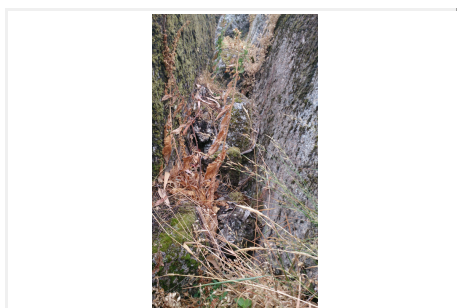
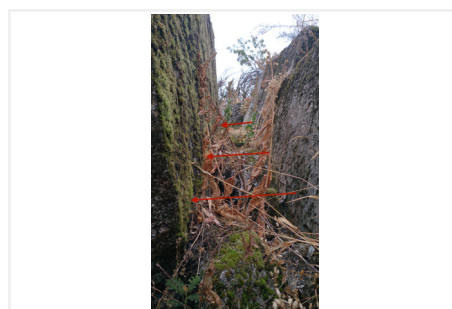
Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
2					
0	Pouco grave <input type="checkbox"/>	Limitado e estável <input type="checkbox"/>	<50% do admissível <input type="checkbox"/>	Local <input type="checkbox"/>	4
1	Grave <input checked="" type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input checked="" type="checkbox"/>	>50% do admissível <input checked="" type="checkbox"/>	Global <input checked="" type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
6					
0	Pouco grave <input type="checkbox"/>	Limitado e estável <input type="checkbox"/>	<50% do admissível <input checked="" type="checkbox"/>	Local <input checked="" type="checkbox"/>	2
1	Grave <input checked="" type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input checked="" type="checkbox"/>	>50% do admissível <input type="checkbox"/>	Global <input type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
-					
0	Pouco grave	Limitado e estável	<50% do admissível	Local	
1	Grave	Significativo ou em evolução	>50% do admissível	Global	

Fotografias ou esquemas interpretativos

NGA - Nível de gravidade da anomalia

	Caracterização do bloco		Nível de instabilidade potencial	Caracterização da superfície da trajectória		Anomalia	NGB
	Peso	Forma		Inclinação	Cobertura com solo	NGA	
1	Reduzido	Planar	Reduzido	<30°	>60%		
2	Médio	Paralelepípedica	Médio	>30° e <60°	>20% e <60%	4	15
3	Elevado	Esférica	Elevado	>60°	<20%		

NGB - Nível de gravidade do bloco (5 a 19)

Ficha de Inspeção
(por bloco potencialmente instável)

Data de inspeção: **Início:** 24/07/2015 **Fim:** 24/07/2015
Preenchido: Carlos Pacheco **Data:** 24/07/2015
Verificado: JCT **Data:** 10/09/2015

Identificação

ID Bloco: 12 **Setor:** 3 **Coordenadas (Hayford-Gauss Datum73):** X: 6603,91
Designação: BL7 Y: 171959,90

Condições

Meteorológicas: **Céu limpo:** - **Acesso:** **Directo:** X
Parcialmente nublado: - **Binóculos:** -
Nublado: X **Inacessível:** -
Chuva: -

Caracterização

Forma: Paralelepípedica **Dimensão (cm):** c=120; l=40; h=250
Litologia: Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico
Grau de alteração (W): W2 **Grau de fracturação (F):** - **Classe de resistência (S):** -

Não isolado: X

Isolado: -

Não isolado

Descontinuidades: **Abertas:** X **Preenchidas:** - **Material de preenchimento:** -
Não preenchidas: X
Fechadas: - **Orientação:** -
Com presença de água: -
Sem presença de água: X

Tipo de instabilidade potencial: **Cunha:** "X" **Toppling:** X
Planar: - **Desprendimento:**

Isolado

Superfície de apoio: **Solo:** - **Rocha:** - **Rocha esmagada:** -
Inclinação aproximada (°): -
Com vegetação: - **Sem vegetação:** -
Com escoamento de água: - **Sem escoamento de água:** -

Localização - Fotografias



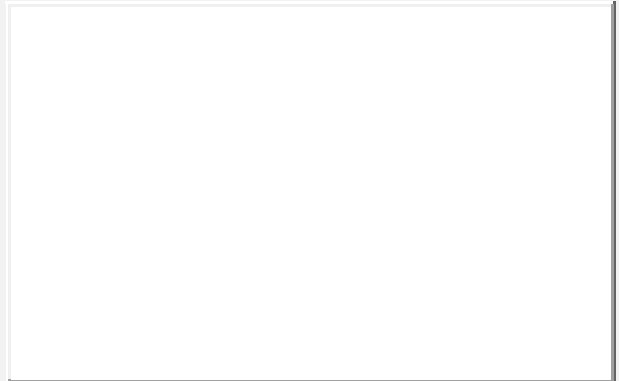
a



b



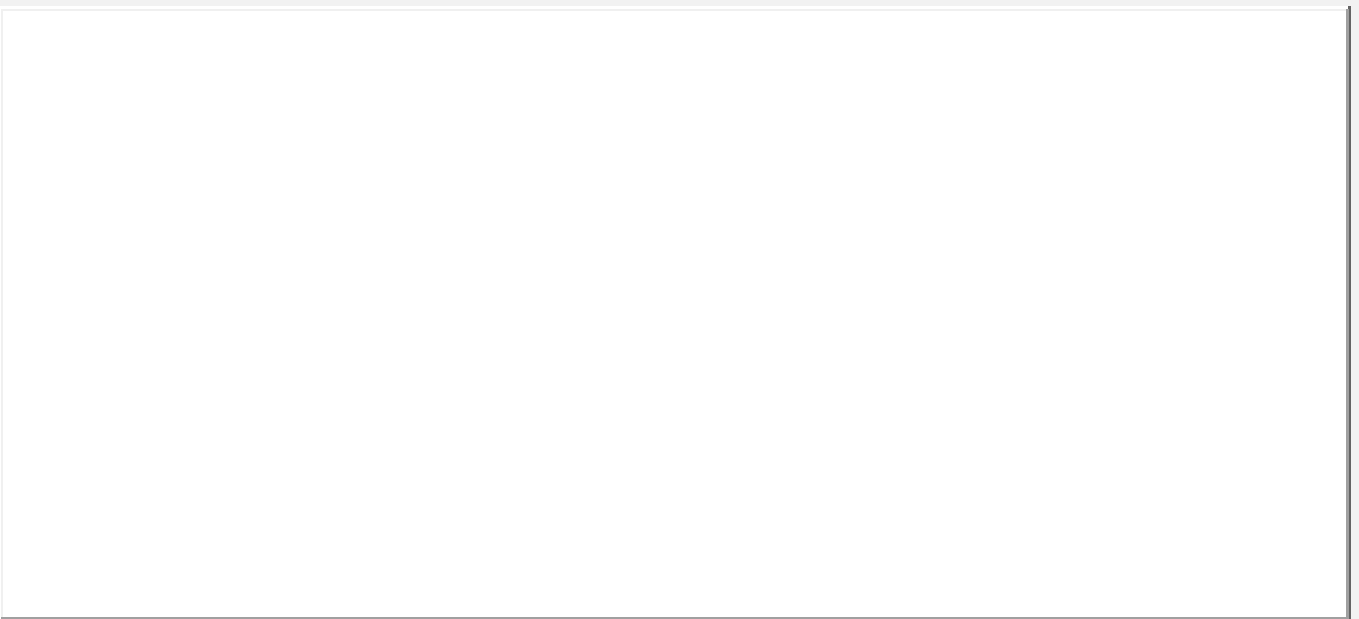
c



d

Legenda:

Trajectória do bloco - corte transversal



Anomalias

Presença de
descontinuidades (1): ☒

Abertura das
descontinuidades (2): ☒

Descalçamento (3): ☒

Presença de vegetação com
efeito instabilizador (4): ☒

Deslocamento dos blocos (5): ☐

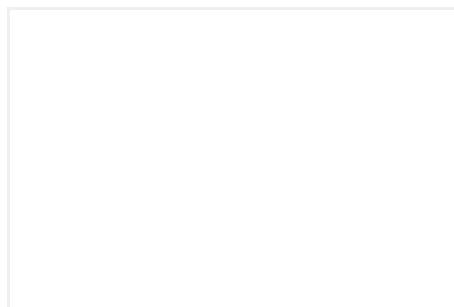
Outro (8):

Presença de blocos com efeito
instabilizador (sobrecarga) (6): ☐

Presença de água nas descontinuidades
ou na base dos blocos (7): ☐

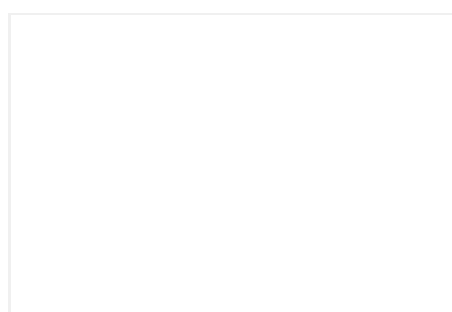
Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
1					
0	Pouco grave <input type="checkbox"/>	Limitado e estável <input type="checkbox"/>	<50% do admissível <input checked="" type="checkbox"/>	Local <input type="checkbox"/>	3
1	Grave <input checked="" type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input checked="" type="checkbox"/>	>50% do admissível <input type="checkbox"/>	Global <input checked="" type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



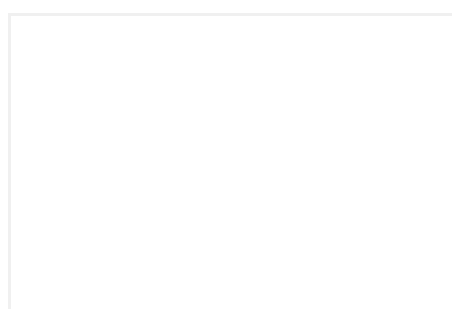
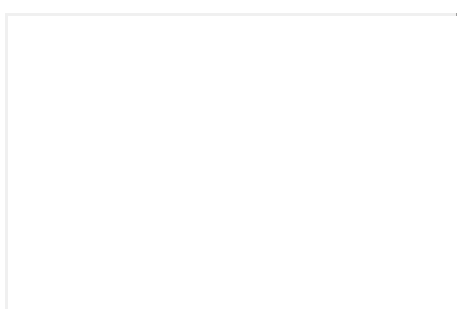
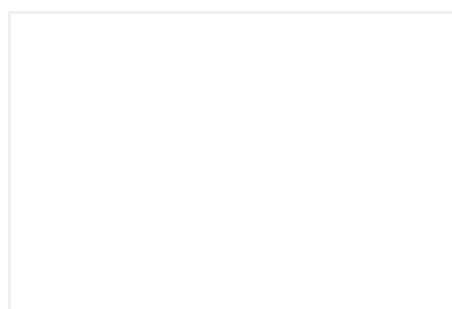
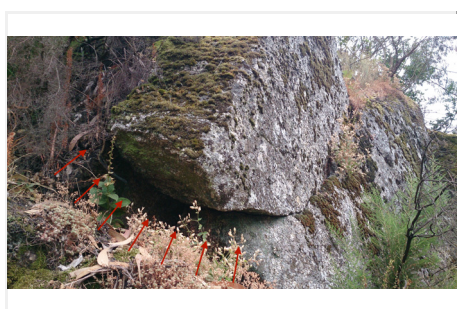
Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
2					
0	Pouco grave <input type="checkbox"/>	Limitado e estável <input type="checkbox"/>	<50% do admissível <input type="checkbox"/>	Local <input type="checkbox"/>	4
1	Grave <input checked="" type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input checked="" type="checkbox"/>	>50% do admissível <input checked="" type="checkbox"/>	Global <input checked="" type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



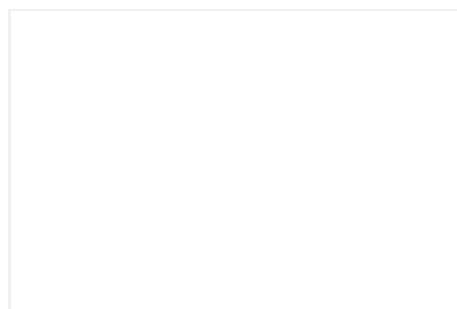
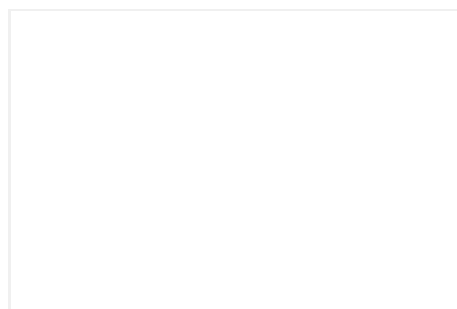
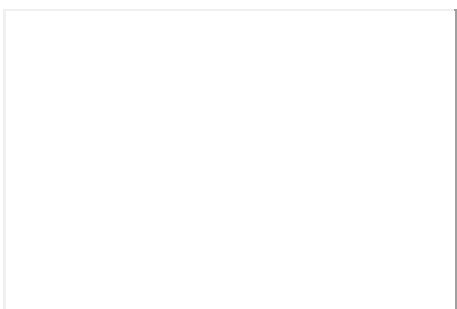
Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
3					
0	Pouco grave <input checked="" type="checkbox"/>	Limitado e estável <input checked="" type="checkbox"/>	<50% do admissível <input checked="" type="checkbox"/>	Local <input type="checkbox"/>	1
1	Grave <input type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input type="checkbox"/>	>50% do admissível <input type="checkbox"/>	Global <input checked="" type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



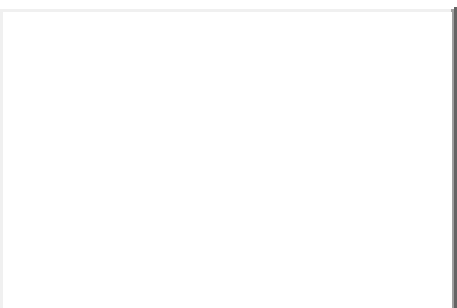
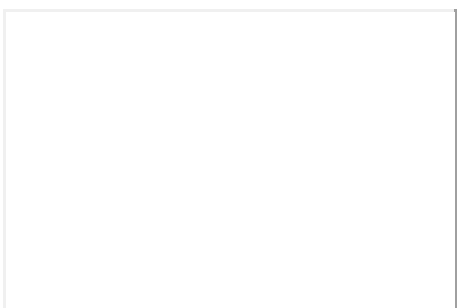
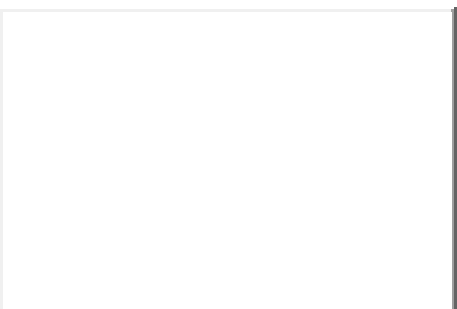
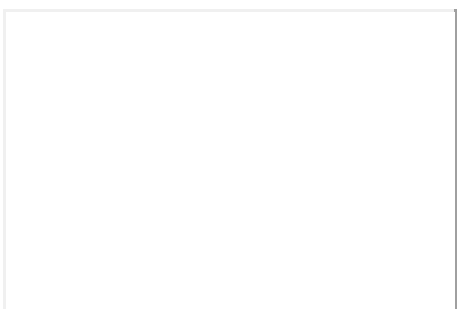
Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
4					
0	Pouco grave <input checked="" type="checkbox"/>	Limitado e estável <input type="checkbox"/>	<50% do admissível <input checked="" type="checkbox"/>	Local <input type="checkbox"/>	2
1	Grave <input type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input checked="" type="checkbox"/>	>50% do admissível <input type="checkbox"/>	Global <input checked="" type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
-					
0	Pouco grave <input type="checkbox"/>	Limitado e estável <input type="checkbox"/>	<50% do admissível <input type="checkbox"/>	Local <input type="checkbox"/>	-
1	Grave <input type="checkbox"/>	Significativo ou em evolução <input type="checkbox"/>	>50% do admissível <input type="checkbox"/>	Global <input type="checkbox"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
-					
0	Pouco grave	Limitado e estável	<50% do admissível	Local	
1	Grave	Significativo ou em evolução	>50% do admissível	Global	

Fotografias ou esquemas interpretativos

NGA - Nível de gravidade da anomalia

	Caracterização do bloco		Nível de instabilidade potencial	Caracterização da superfície da trajectória		Anomalia	NGB
	Peso	Forma		Inclinação	Cobertura com solo	NGA	
1	Reduzido	Planar	Reduzido	<30°	>60%		
2	Médio	Paralelepípedica	Médio	>30° e <60°	>20% e <60%	4	15
3	Elevado	Esférica	Elevado	>60°	<20%		

NGB - Nível de gravidade do bloco (5 a 19)

Ficha de Inspeção
(por bloco potencialmente instável)

Data de inspeção: **Início:** 10/09/2015 **Fim:** 10/09/2015
Preenchido: Carlos Pacheco **Data:** 10/09/2015
Verificado: JCT **Data:** 10/09/2015

Identificação

ID Bloco: 13 **Setor:** 4 **Coordenadas (Hayford-Gauss Datum73):** X: 6608,00
Designação: BI6 Y: 171972,15

Condições

Meteorológicas: Céu limpo: X
Parcialmente nublado: -
Nublado: -
Chuva: -
Acesso: Directo: X
Binóculos: -
Inacessível: -

Caracterização

Forma: Esférica **Dimensão (cm):** c=240; l=145; h=120

Litologia: Granito porfiróide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico

Grau de alteração (W): W2-3 **Grau de fracturação (F):** - **Classe de resistência (S):** -

Não isolado: - **Isolado:** X

Não isolado

Descontinuidades: Abertas: - Preenchidas: - Material de preenchimento: -
Não preenchidas: -
Fechadas: - **Orientação:** -
Com presença de água: -
Sem presença de água: -

Tipo de instabilidade potencial: Cunha: - Toppling: -
Planar: - Desprendimento: -

Isolado

Superfície de apoio: Solo: X Rocha: - Rocha esmagada: -
Inclinação aproximada (°): 40
Com vegetação: - Sem vegetação: X
Com escoamento de água: X Sem escoamento de água: -

Localização - Fotografias



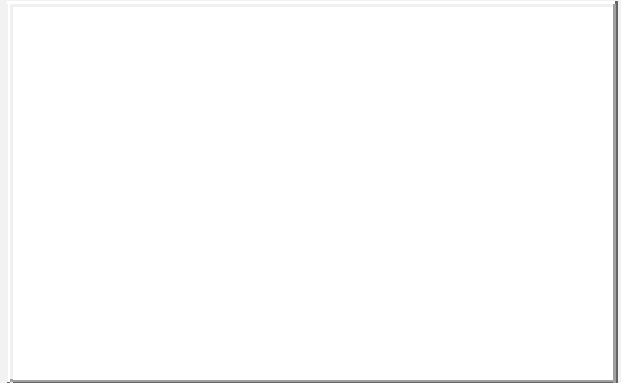
a



b



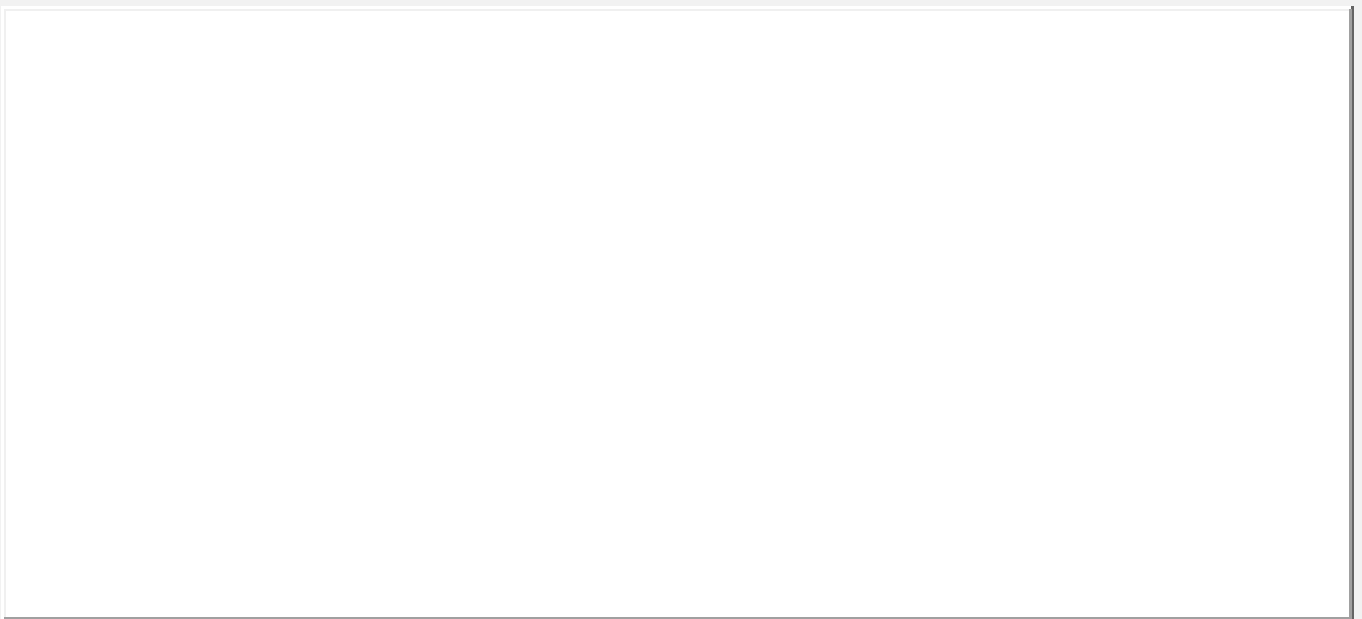
c



d

Legenda:

Trajectória do bloco - corte transversal



Anomalias

Presença de
descontinuidades (1):

Abertura das
descontinuidades (2):

Descalçamento (3):

Presença de vegetação com
efeito instabilizador (4):

Deslocamento dos blocos (5):

Outro (8):

Presença de blocos com efeito
instabilizador (sobrecarga) (6):

Presença de água nas descontinuidades
ou na base dos blocos (7):

Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
6					
0	Pouco grave <input type="text" value="X"/>	Limitado e estável <input type="text" value="X"/>	<50% do admissível <input type="text" value="X"/>	Local <input type="text" value="X"/>	<input type="text" value="0"/>
1	Grave <input type="text" value="-"/>	Significativo ou em evolução <input type="text" value="-"/>	>50% do admissível <input type="text" value="-"/>	Global <input type="text" value="-"/>	

Fotografias ou esquemas interpretativos



Anomalia	Caracterização da anomalia			Consequência	NGA
	Natureza	Desenvolvimento	Extensão		
-					
0	Pouco grave	Limitado e estável	<50% do admissível	Local	
1	Grave	Significativo ou em evolução	>50% do admissível	Global	

Fotografias ou esquemas interpretativos

NGA - Nível de gravidade da anomalia

	Caracterização do bloco		Nível de instabilidade potencial	Caracterização da superfície da trajectória		Anomalia	NGB
	Peso	Forma		Inclinação	Cobertura com solo	NGA	
1	Reduzido	Planar	Reduzido	<30°	>60%		
2	Médio	Paralelepípedica	Médio	>30° e <60°	>20% e <60%	0	10
3	Elevado	Esférica	Elevado	>60°	<20%		

NGB - Nível de gravidade do bloco (5 a 19)